

Université de Montréal

**Une approche conceptuelle pour l'interprétation des graphiques  
en cinématique au secondaire**

par

Guillaume-Olivier Choquette

Département de didactique  
Faculté des sciences de l'éducation

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures  
en vue de l'obtention du grade de Maître ès arts (M. A.)  
en sciences de l'éducation, option didactique

Août 2008

© Guillaume-Olivier Choquette, 2008

Université de Montréal  
Faculté des études supérieures

Ce mémoire intitulé :  
Une approche conceptuelle pour l'interprétation des graphiques  
en cinématique au secondaire

présenté par :  
Guillaume-Olivier Choquette

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

France Caron  
président-rapporteur

Jesús Vázquez-Abad  
directeur de recherche

Marcel Thouin  
membre du jury

## *Résumé*

Cette recherche tente de déterminer si, dans le cadre d'un cours de physique de cinquième secondaire, l'utilisation d'un laboratoire par enquête guidée (comme complément d'enseignement basé sur une approche conceptuelle) permet aux élèves de mieux comprendre des notions de cinématique, que le laboratoire traditionnel. Elle s'inscrit dans une série d'études, réalisées au collégial ou à l'université, qui portent sur des approches d'enseignement exploitant le laboratoire comme moyen de transmission des concepts mécaniques en physique (McDermott, 1996; Beichner, 1994).

Le laboratoire par enquête est associé à une approche conceptuelle axée sur le raisonnement qualitatif alors que celui qui est traditionnel est associé à une approche traditionnelle de l'enseignement de la physique. Le test TUG-K, «Test of Understanding Graphs in Kinematics» (Beichner, 1994), ainsi que des entrevues individuelles ont été utilisés afin d'évaluer la compréhension des concepts de cinématique. Il semble d'abord que le laboratoire par enquête guidé soit efficace pour enseigner la plupart des notions de cinématique. De plus, en comparant deux groupes d'une trentaine d'élèves de 5<sup>e</sup> secondaire ayant suivi deux types de laboratoires différents, l'étude a permis d'entrevoir une piste concernant la compréhension du concept d'accélération. Les résultats suggèrent qu'un laboratoire associé à une approche conceptuelle permettrait aux étudiants, à long terme, de mieux s'approprier les notions d'accélération qu'un laboratoire traditionnel.

**Mots clé :** changement conceptuel, approche conceptuelle, approche traditionnelle, laboratoire par enquête, laboratoire traditionnel, physique mécanique, cinématique, accélération, graphiques, test TUG-K.

## *Abstract*

The goal of this study is to determine whether the use of a guided inquiry laboratory (as a teaching complement based on a conceptual approach) will allow secondary five students to better understand kinematics notions than by the use of an expository laboratory. It comes within a series of college and university studies about teaching approaches using laboratories to transmit physics' concepts in mechanics (McDermott, 1996; Beichner, 1994).

The guided inquiry laboratory approach is associated to a conceptual approach based on qualitative reasoning, whereas the expository laboratory is associated to traditional approach in teaching physics. The Test of Understanding Graphs in Kinematics (TUG-K) (Beichner, 1994) and individual interviews were used to evaluate understanding of kinematics concepts. First of all, the study shows that a guided inquiry approach is an effective method to teach most of kinematics notions. Comparing the results from two groups of 38 students, the study results indicate that a conceptual approach laboratory is better than an expository laboratory for students' long-term understanding of acceleration notions.

**Keywords:** conceptual change, conceptual approach, traditional approach, inquiry laboratory, expository laboratory, physics, kinematics, acceleration, graphs, TUG-K test.

## TABLES DES MATIÈRES

<b>0. REMERCIEMENTS</b>	<b>XI</b>
<b>1. INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
<b>2. PROBLÉMATIQUE</b>	<b>4</b>
<b>2.1. Un phénomène bien documenté</b>	<b>5</b>
<b>2.2. Problème général</b>	<b>7</b>
<b>2.3. Les notions de physique mécanique au secondaire</b>	<b>8</b>
<b>2.4. Processus de changement conceptuel</b>	<b>9</b>
2.4.1. Les préconceptions	9
2.4.2. Deux grandes perspectives dans l'étude du changement conceptuel	12
<b>2.5. Diverses approches pour l'enseignement des sciences</b>	<b>20</b>
2.5.1. La mémorisation des concepts	21
2.5.2. L'atteinte d'objectifs opératoires	22
2.5.3. L'investigation et la découverte	23
2.5.4. La maîtrise de compétences	27
2.5.5. Le constructivisme didactique	29
2.5.6. Une approche conceptuelle	32
2.5.7. Le rôle des laboratoires	34
<b>2.6. Problème spécifique</b>	<b>35</b>
<b>3. CADRE CONCEPTUEL</b>	<b>37</b>
<b>3.1. Particularités de l'enseignement des sciences</b>	<b>38</b>
3.1.1. Habiletés associées aux cours de sciences	39
3.1.2. Les laboratoires	42

<b>3.2. L'enseignement de la cinématique</b>	<b>47</b>
3.2.1. Le rôle des graphiques	50
3.2.2. Le rôle des laboratoires et de l'expérimentation assistée par ordinateur (ExAO)	53
3.2.3. Le choix des laboratoires en cinématique	57
3.2.4. Instrument mesurant la compréhension des concepts en cinématique par l'intermédiaire des graphiques	59
<b>3.3. Question de recherche</b>	<b>62</b>
<b>4. MÉTHODOLOGIE</b>	<b>64</b>
<b>4.1. Démarche d'ensemble et modes d'investigation</b>	<b>66</b>
4.1.1. Laboratoires élaborés pour le projet	68
4.1.2. Outil diagnostic: test TUG-K	74
4.1.3. Entrevues individuelles	76
<b>4.2. Déroulement de l'intervention et collecte des données</b>	<b>80</b>
4.2.1. Déroulement des laboratoires	80
4.2.2. Déroulement des tests	82
4.2.3. Déroulement des entrevues individuelles	82
<b>4.3. Contrôle des biais</b>	<b>83</b>
<b>5. RÉSULTATS</b>	<b>84</b>
<b>5.1. Résultats au test TUG-K</b>	<b>85</b>
5.1.1. Résultats au pré-test	85
5.1.2. Résultats au post-test	88
5.1.3. Analyse des résultats – Analyse de la variance	90
5.1.4. Discussion	93
<b>5.2. Résultats de l'entrevue</b>	<b>97</b>
5.2.1. Résultats primaires par question	97

5.2.2. Résultats par compréhension des concepts de vitesse et d'accélération	111
5.2.3. Résultats par type d'habileté travaillée	114
5.2.4. Analyse des résultats	116
5.2.5. Discussion	118
<b>6. CONCLUSION</b>	<b>124</b>
<b>7. BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>129</b>
<b>8. ANNEXES</b>	<b>I</b>

ANNEXE I-A - Cahier d'activité pour le laboratoire traditionnel - 1 <sup>re</sup> partie.....	ii
ANNEXE I-B - Cahier d'activité pour le laboratoire traditionnel - 2 <sup>e</sup> partie.....	v
ANNEXE II-A - Cahier d'activité pour le laboratoire enquête - 1 <sup>re</sup> partie.....	viii
ANNEXE II-B - Cahier d'activité pour le laboratoire enquête- 2 <sup>e</sup> partie.....	xi
ANNEXE III - Feuille d'analyse pour la première partie du laboratoire traditionnel et du laboratoire enquête.....	xiii
ANNEXE IV - Feuille d'analyse pour le laboratoire traditionnel - 2 <sup>e</sup> partie.....	xvi
ANNEXE V - Feuille de préparation pour le laboratoire enquête - 2 <sup>e</sup> partie.....	xix
ANNEXE VI - Feuille d'analyse pour le laboratoire enquête - 2 <sup>e</sup> partie.....	xxii
ANNEXE VII - Questionnaire du test TUG-K.....	xxv
ANNEXE VIII - Questionnaire d'entrevue individuelle.....	xxxiii

## LISTE DES TABLEAUX

<b>TABLEAU I - Caractéristiques des divers types de laboratoire.....</b>	<b>46</b>
<b>TABLEAU II - Équations du mouvement rectiligne.....</b>	<b>49</b>
<b>TABLEAU III - Objectifs du test TUG-K.....</b>	<b>60</b>
<b>TABLEAU IV - Résultats lors du <u>pré-test</u>, en % de bonnes réponses, pour le groupe contrôle et le groupe expérimental, pour toutes les questions (celles-ci étant regroupées en type) .....</b>	<b>87</b>
<b>TABLEAU V - Résultats lors du <u>post-test</u>, en % de bonnes réponses, pour le groupe contrôle et le groupe expérimental, pour toutes les questions (celles-ci étant regroupées en type) .....</b>	<b>89</b>
<b>TABLEAU VI - ANOVAS (en fonction du traitement, du moment, ou de l'interaction entre les deux) pour les types de question 1, 3, 5 et 7.....</b>	<b>91</b>
<b>TABLEAU VII - ANOVAS (en fonction du traitement, du moment, ou de l'interaction entre les deux) pour les types de question 2, 4 et 6.....</b>	<b>92</b>
<b>TABLEAU VIII - Comparaison entre les résultats obtenus par Beichner (1994) et ceux des groupes contrôle et expérimental de cette étude lors du pré-test, pour toutes les questions du test TUG-K.....</b>	<b>96</b>
<b>TABLEAU IX - Résultats des étudiants à l'entrevue au niveau du concept de vitesse, en fonction de leur force respective et de leur groupe.....</b>	<b>112</b>
<b>TABLEAU X - Résultats des étudiants à l'entrevue au niveau du concept d'accélération, en fonction de leur force respective et de leur groupe.....</b>	<b>114</b>
<b>TABLEAU XI - Résultats des étudiants à l'entrevue au niveau de l'habileté à construire des graphiques, en fonction de leur force respective et de leur groupe.....</b>	<b>115</b>
<b>TABLEAU XII - Résultats des étudiants à l'entrevue au niveau de l'habileté à choisir un graphique associé à un énoncé textuel, en fonction de leur force respective et de leur groupe.....</b>	<b>116</b>



## LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 - Schéma représentant la comparaison entre les investigations inductive et déductive.....	25
FIGURE 2 - Le cycle d'apprentissage dans une approche constructiviste .....	30
FIGURE 3 - Sections du laboratoire traditionnel indiquant les étapes à suivre et la prise des données pour l'expérience.....	69
FIGURE 4 - Sections du laboratoire par enquête indiquant le fonctionnement du matériel et la prise des données pour l'expérience.....	72
FIGURE 5 - Graphique de la moyenne des pourcentages de bonnes réponses, pour chaque type de question, obtenues lors du pré-test, pour le groupe contrôle et le groupe expérimental.....	86
FIGURE 6 - Graphique de la moyenne des pourcentages de bonnes réponses, pour chaque type de question, obtenues lors du post-test, pour le groupe contrôle et le groupe expérimental.....	88
FIGURE 7 - Moyenne de bonnes réponses pour le 6 <sup>e</sup> type de question en fonction du moment de passage du test TUG-K.....	93
FIGURE 8 - Graphiques associées à la question 2 du questionnaire d'entrevue.....	99
FIGURE 9 - Photo multiple d'une balle en chute libre.....	100
FIGURE 10 - Position de la balle sur le plan incliné.....	102
FIGURE 11 - Graphiques de la position en fonction du temps obtenus pour la question 5.....	105
FIGURE 12 - Graphiques de la vitesse en fonction du temps obtenus pour la question 5.....	105
FIGURE 13 - Graphiques de l'accélération en fonction du temps obtenus pour la question 5.....	106
FIGURE 14 - Graphiques de l'accélération en fonction du temps obtenus pour la question 7a.....	108

FIGURE 15 - Graphiques de l'accélération en fonction du temps obtenus pour la question 7b.....	108
FIGURE 16 - Graphiques de l'accélération en fonction du temps obtenus pour la question 7c.....	109
FIGURE 17 - Graphiques de l'accélération en fonction du temps obtenus pour la question 7d.....	109
FIGURE 18 - Graphiques de l'accélération en fonction du temps obtenus pour la question 7e.....	110
Figure 19 - Graphiques de la vitesse en fonction du temps obtenus pour la question 8.....	110

## 0. Remerciements

J'aimerais tout d'abord remercier mon directeur de recherche, Jesús Vázquez-Abad, professeur au Département de didactique de l'Université de Montréal. Il a su m'encourager tout au long de ce périple, m'éclairer lorsque tout semblait confus et me fournir l'aide nécessaire dans les moments critiques.

Merci à M. Marcel Thouin et Mme France Caron pour leur temps et leurs explications.

Merci également à Chantale Cantin, Brigitte Ratté et Martin Beaulieu pour leur aide précieuse dans le développement des laboratoires.

Merci à Robert Beichner pour m'avoir permis d'utiliser son test TUG-K dans le cadre de ce projet de recherche.

Merci aux élèves de cinquième secondaire de la promotion 2007 du Collège Jean-Eudes ayant participé à cette étude.

Merci à la Direction du Collège Jean-Eudes, à la Faculté de sciences de l'éducation et à la Faculté des études supérieures de l'Université de Montréal pour leur appui financier.

Et finalement, merci à ma conjointe, Josée Marleau, pour son écoute, son appui inconditionnel et ses encouragements tout au long de ces quatre années.

## **1. Introduction**

Étant dans une école secondaire aux standards élevés, j'enseigne à des élèves relativement forts, et qui ont choisi le cours de physique (534), en option, en cinquième secondaire. Le choix de cette option est obligatoire pour accéder à un programme en sciences au collégial, autant pour un profil général que pour un profil technique. Le cours est donc parmi ceux qui « ouvrent » toutes les portes pour le CÉGEP, et c'est pourquoi les élèves de cinq groupes sur huit, au Collège, choisissent la physique. Ceux-ci subissent une certaine pression parentale en ce sens car, dans la plupart des cas, ils hésitent dans leur choix de parcours collégial. Le cours est néanmoins sélectif puisqu'il nécessite la passation des cours de mathématiques avancées (436) et de sciences physiques avancées (436) de quatrième secondaire, avec une moyenne supérieure ou égale à 75 % dans les deux cours. Quelques élèves seulement (moins d'une dizaine) peuvent suivre le cours de physique même s'ils ne respectent pas ces critères de sélection. Ceux-ci doivent se diriger dans un domaine où l'un des deux cours de science est préalable (certaines techniques, par exemple).

Le cours de physique est séparé en deux volets, l'un axé sur les activités en laboratoire (580) et l'autre sur la théorie (570). Tous deux sont évalués : une note indépendante pour chacun ainsi qu'une note globale des deux apparaissent au bulletin. Le contenu théorique traite de deux modules, l'optique (étude des phénomènes lumineux) et la mécanique (étude du mouvement). Les mathématiques sont omniprésentes dans le cadre de ce cours puisque plusieurs concepts, surtout pour le module mécanique, nécessitent l'utilisation d'équations diverses.

Suite à mes quelques années d'expérience en enseignement de cette discipline, j'ai remarqué des difficultés récurrentes rencontrées par les élèves,

tout particulièrement dans le module de mécanique. D'abord, il est très difficile de transformer leurs conceptions de phénomènes physiques qu'ils observent depuis longtemps. Comme la mécanique traite du mouvement des objets, ils se sont d'ores et déjà construit une explication qui leur convient, et qui est très difficile à transformer pour rejoindre les théories scientifiques. Les élèves peinent aussi pour la résolution de problèmes d'ordre qualitatif. Comme ils ont tendance à se fier exclusivement aux équations, il n'est pas rare qu'on les retrouve désespérés si le problème n'affiche aucune variable à valeur numérique. Leur compréhension d'une situation problématique devrait dépasser le simple choix d'une équation mais, dans bien des cas, il n'en va pas de soi. D'autre part, le passage du monde réel au monde mathématique, ou vice versa, ne se fait pas sans difficultés. Les élèves ont de la difficulté à faire le lien entre les notions rencontrées en laboratoire et les concepts théoriques vus en classe. Finalement, les élèves sont très inconfortables lorsqu'il s'agit de faire des liens entre des graphiques représentant différents paramètres du mouvement (la position, la vitesse ou l'accélération). Les calculs mathématiques sont eux aussi sources d'erreurs mais on peut dire qu'ils sont davantage du ressort de la discipline mathématique que de la physique, même s'ils découragent souvent les élèves aux prises avec des problèmes de physique mécanique.

Ces constats me poussent à explorer une piste qui serait potentiellement intéressante en enseignement de la physique, une approche dite conceptuelle (Brousseau & Vázquez-Abad, 2007). Cette dernière miserait d'abord et avant tout sur la compréhension des concepts à la base de chaque notion, avant d'intégrer la partie mathématique, qui « essouffle » souvent les élèves.

## **2. Problématique**

## 2.1. *Un phénomène bien documenté*

Les problèmes d'apprentissage des étudiants que je rencontre en classe, spécialement en mécanique, ne relèvent pas d'un phénomène récent ou exclusif au milieu où j'enseigne. Plusieurs chercheurs ont déjà traité des mêmes difficultés, surtout au collégial et à l'université. Des chercheurs en enseignement de la physique au collégial de l'*Arizona State University*, ont fait une recension d'études réalisées aux États-Unis et qui portent sur les conceptions générales des étudiants à propos du mouvement des objets (Caramazza *et al.*, 1981; Champagne *et al.*, 1980; Champagne et Klopfer, 1982; Clement, 1982; McCloskey *et al.*, 1980). Ils en sont venus aux deux conclusions générales suivantes:

« (1) Les conceptions générales (préconceptions) concernant le mouvement d'objets sont généralement incompatibles avec les théories newtoniennes (lois de physique acceptées qui expliquent le mouvement). Les étudiants ont donc tendance à systématiquement mal interpréter le matériel des cours de physique d'introduction (cours collégial ou de première année d'université).

(2) Les préconceptions sont très stables, et l'enseignement conventionnel (cours magistraux et laboratoires traditionnels) réussit très peu à les transformer. » (Halloun et Hestenes, 1985, p.1043)

Ces énoncés renforcent mes propres constatations quant à la difficulté de convertir les conceptions des élèves, la plupart du temps erronées, en conceptions en accord avec les énoncés théoriques. De plus, le second énoncé cible les méthodes d'enseignement. L'utilisation exclusive de la méthode conventionnelle ne semble pas permettre de développer une compréhension juste et complète des concepts en mécanique.

Une autre étude, menée par Shaffer et McDermott (1992), a montré que la compréhension « fonctionnelle » ne s'atteint pas seulement en étant capable de résoudre des problèmes quantitatifs. Ces chercheurs, avec l'aide de leur



groupe de recherche (*Physics Education Group*) de l'Université de Washington, ont travaillé avec des étudiants d'université de cours d'introduction en électricité afin d'établir la compréhension des étudiants en ce qui a trait aux circuits électriques. Ils définissent la compréhension « fonctionnelle » comme « l'habileté à faire le raisonnement juste afin d'appliquer les concepts et les principes appropriés dans une situation qui n'a pas été mémorisée au préalable ». Plus précisément, on peut dire que la réussite d'une série de problèmes quantitatifs de fin de chapitre d'un manuel de cours, suite à un enseignement conventionnel, ne sera pas garante d'une compréhension fonctionnelle de l'objet d'étude. Pour beaucoup d'étudiants, la résolution de ce type de problèmes est une activité passive, alors que des problèmes nécessitant un raisonnement qualitatif exigent un niveau d'effort intellectuel plus élevé. L'étude montre même que les étudiants qui ont de l'expérience en résolution de problèmes de façon qualitative auraient, pour des problèmes quantitatifs, d'aussi bons résultats sinon meilleurs que des étudiants qui font de la résolution traditionnelle de problèmes. Mais surtout, les étudiants qui ont fait de la résolution de problèmes de façon qualitative obtiennent de bien meilleurs résultats pour ce type de problèmes que les autres, et en plus ils peuvent donner de bien meilleures explications physiques. Encore une fois, ces résultats permettent de douter qu'un enseignement conventionnel exclusif soit suffisant dans le cadre d'un cours de physique, ou du moins « il ne permettrait pas nécessairement aux étudiants de construire un cadre conceptuel cohérent » (Shaffer et McDermott, 1992, p. 1012).

## 2.2. *Problème général*

En résumé, ces études menées au collégial et à l'université montrent, tout comme mes constatations au secondaire, que les étudiants ont de la difficulté à transformer leurs préconceptions pour adopter les conceptions scientifiques acceptées. De plus, l'enseignement conventionnel seul ne suffirait pas à faire cette transformation des conceptions, ni garant d'une compréhension fonctionnelle complète. On peut donc se poser la question suivante :

*Est-ce qu'un enseignement par une approche conceptuelle, qui mettrait l'accent sur un raisonnement qualitatif, permettrait aux élèves de cinquième secondaire en physique de s'approprier les notions de mouvement ?*

Avant d'approfondir cette question générale, il importe d'en clarifier certains éléments. Nous identifierons d'abord le contenu des notions de mouvement en physique mécanique au secondaire. Nous traiterons ensuite des principales approches en enseignement des sciences, en y spécifiant finalement le rôle crucial des laboratoires.

### ***2.3. Les notions de physique mécanique au secondaire***

Les élèves rencontrent des notions de physique dans leurs cours de sciences tout au long du cursus secondaire, néanmoins, ce n'est qu'en cinquième secondaire qu'un cours optionnel basé exclusivement sur la physique est offert aux étudiants. Il est scindé en deux volets distincts, l'optique et la mécanique. Les cours sur l'optique traitent des phénomènes lumineux : la propagation de la lumière, ses comportements en fonction du milieu dans lequel elle voyage, et l'étude des principaux instruments optiques. La mécanique traite du mouvement en soi, ainsi que de tout ce qui en est la source. Ce volet est approfondi dans le cadre des cours collégiaux ou de cours d'introduction à l'université, mais essentiellement, ces derniers traitent des mêmes thèmes que ceux touchés au secondaire. On distingue différentes branches à l'intérieur même de ce volet : la cinématique (étude du déplacement, de la vitesse et de l'accélération dans un mouvement), la dynamique (étude du mouvement d'une masse causé par une ou plusieurs forces), et tous les thèmes qui ont un lien avec l'énergie (travail, rendement, machines et différentes formes d'énergie). Une des branches importantes du volet mécanique, la cinématique, nécessite l'exploitation des graphiques, outils mathématiques puissants permettant de représenter le lien concret entre les variables (temps, déplacement, vitesse et accélération). La nature et l'utilité des graphiques seront traitées dans le cadre conceptuel. La représentation de situations réelles en laboratoire (activité d'enseignement particulière aux cours de sciences), assistées de l'outil graphique, est une méthode privilégiée pour la compréhension de la cinématique.

## 2.4. *Processus de changement conceptuel*

Pour comprendre la nature des difficultés rencontrées par les élèves en physique, ou encore pour pouvoir présenter les notions selon un ordre logique d'apprentissage, il faut tenir compte du changement conceptuel vécu par les élèves. Si on se fie à une perspective piagétienne, on considère que des changements importants, sur le plan du fonctionnement cognitif, se produisent à l'adolescence (donc au deuxième cycle du secondaire), d'abord parce que les étudiants assimilent des savoirs sur des phénomènes qu'ils n'ont pas étudiés ou rencontrés auparavant, mais surtout parce que leurs idées sont remplacées par des notions plus rigoureuses, abstraites et qui permettent de faire des prédictions (Linn et Songer, 1991). Et, comme l'esprit fonctionne avec des patrons d'association qui dépendent du contexte, on peut comprendre que les étudiants aient recours à la généralisation de leur expérience personnelle, notamment en physique, pour expliquer des problèmes. Afin de comprendre le processus de changement conceptuel vécu par les étudiants, nous présenterons d'abord le rôle des préconceptions, à la base du processus, ainsi que deux grandes perspectives expliquant le changement conceptuel en soi.

### 2.4.1. *Les préconceptions*

Selon Legendre (2002), une problématique du changement conceptuel engendre un processus d'accroissement des connaissances sous l'angle d'une transformation graduelle des savoirs déjà acquis qui se trouvent modifiés par l'apport de connaissances nouvelles. Cette chercheuse traite ici de cette idée de transformation graduelle des savoirs :

Les nouvelles notions abordées sont bâties en approfondissant et en transformant les anciennes conceptions, les savoirs existants des étudiants (communément appelés « préconceptions »). L'apprentissage n'est donc pas un processus strictement additif

pouvant se réduire à une simple adjonction de nouveaux savoirs aux savoirs antérieurement acquis. Il ne résulte pas simplement de l'apport d'informations nouvelles, mais nécessite un changement de conceptions ou de représentations, c'est-à-dire une modification plus ou moins importante des connaissances antérieures. (Legendre, 2002, p. 178)

Des recherches s'inscrivant dans la perspective du changement conceptuel (Confrey, 1990; Duit, 1991) ont traité des représentations préalables des apprenants ainsi que de l'analyse des processus en jeu dans le passage d'un niveau de connaissance (conceptions antérieures) à un autre plus élaboré (concepts scientifiques faisant l'objet d'un enseignement). Ces recherches ont permis d'identifier certaines caractéristiques, répertoriées par Legendre (2002), des représentations préalables ayant une incidence sur les processus de changement conceptuel. En voici une liste :

- Les conceptions préalables des élèves diffèrent des concepts couramment acceptés dans les disciplines scientifiques qui leur sont enseignées.
- Ces conceptions ou représentations ne peuvent être traitées comme de simples erreurs car elles servent souvent de systèmes d'explication fonctionnels et efficaces dans de nombreuses situations.
- Ces représentations s'avèrent souvent difficiles à modifier. Leur pertinence au moins partielle explique leur robustesse et leur résistance à l'enseignement formel.
- La capacité de résoudre des problèmes reliés à un domaine de connaissance n'est pas garante d'un véritable changement conceptuel.
- Le passage des conceptions préalables aux concepts scientifiques faisant l'objet de l'enseignement scolaire est souvent marqué par des difficultés transitoires, des obstacles à surmonter, car les représentations préalables interfèrent fréquemment avec l'apprentissage. (Legendre, 2002, p. 179)

Un chercheur travaillant avec des étudiants universitaires en physique, Redish (2003) a divisé les préconceptions (conceptions antérieures), ce bagage d'impressions, d'observations et de généralisations cumulé par ses élèves, en deux types : les conceptions naïves communes et les éléments primitifs de raisonnement.

Les conceptions naïves communes sont un modèle mental ou un raisonnement robuste, retrouvé chez une bonne fraction des étudiants (plus de 20 % des élèves). Ces conceptions ne sont pas toujours fausses : elles sont régulièrement valides et tangibles dans la vie de tous les jours. Toutefois, dans une majorité des cas, elles tiendront compte de l'expérience de l'élève, et cette expérience ne rejoindra pas la globalité d'un concept physique, seulement un aspect en particulier. Par exemple, un étudiant, suite à ses observations du monde qui l'environne, risque d'adopter une vision aristotélicienne au lieu d'une vision newtonienne du mouvement des objets. Il croira qu'un objet acquiert une vitesse constante si on lui applique une force constante, ou encore que la vitesse atteinte est proportionnelle à la force investie. En réalité, ces impressions sont bonnes si on tient compte de la friction, mais elles ne sont pas généralisables à tous les cas.

L'élément primitif de raisonnement est, quant à lui, une manière simple d'expliquer la façon avec laquelle un étudiant conçoit une problématique réelle. Il sera souvent irréductible, c'est-à-dire que l'étudiant est incapable de l'approfondir davantage. L'élément primitif de raisonnement peut être associé à une réponse telle que : « C'est de cette façon que ça fonctionne ». Il n'est ni faux ni vrai en soit. Il peut être valide dans certaines circonstances, les experts eux-mêmes y auront recours pour exprimer facilement une somme de savoirs. On retrouve ce type de raisonnement en cinématique lors

de l'interprétation des graphiques. Les étudiants savent que la pente d'un graphique peut donner la vitesse d'un mobile, mais ils ne pousseront pas leur raisonnement plus loin afin de savoir de quel type de graphique il s'agit (quelle variable en fonction de quelle autre). L'analyse des réponses données par des élèves en termes d'éléments primitifs permet à l'enseignant de comprendre le type de raisonnements auxquels il devrait s'attendre.

#### *2.4.2. Deux grandes perspectives dans l'étude du changement conceptuel*

Les préconceptions sont utiles pour comprendre les erreurs habituelles des étudiants et les interprétations erronées par rapport à l'enseignement prodigué. On peut toutefois les considérer comme des obstacles ou des points d'ancrage pouvant déterminer le choix de stratégies pédagogiques ou didactiques privilégiées pour induire un changement conceptuel. Plusieurs approches existent dans l'analyse des processus de changement conceptuel, et celles-ci sont en lien avec le paradoxe de l'apprentissage : le double aspect de continuité et de rupture dans un changement conceptuel. On retrouve à la fois un lien entre les connaissances antérieures et les connaissances nouvelles (sans lequel aucun apprentissage n'est possible), et la présence d'un écart entre les connaissances construites par les élèves et les savoirs formels enseignés. La source de continuité vient de la façon dont les connaissances existantes peuvent se transformer en connaissances plus complexes (ce qui suppose une conservation des acquis antérieurs), alors que l'ajout de connaissances nouvelles suscite une rupture ou tout au moins des obstacles à surmonter. Le changement conceptuel pose problème parce qu'il implique à la fois une part de continuité et une part de rupture. La première permet que l'on accroche les connaissances nouvelles aux représentations antérieures de l'apprenant. Les diverses approches sur le changement conceptuel diffèrent à

la fois par l'importance plus ou moins grande qu'elles accordent à ces aspects de continuité ou au contraire de rupture et par la manière de caractériser ce qui constitue le point d'appui et ce qui peut être source d'obstacles à surmonter. Legendre (2002) suggère une façon de catégoriser les différentes approches selon deux grandes perspectives du changement conceptuel : la perspective de rupture et celle de la continuité.

### **Perspective de rupture**

Les approches qui s'inscrivent dans cette perspective insistent sur la discontinuité entre connaissances communes et connaissances scientifiques et soulignent le statut d'obstacle que présentent les premières au regard de l'acquisition des secondes. Posner, Strike, Hewson et Gertzog (1982) ont proposé un modèle d'évolution des conceptions en science qui a marqué le programme de recherche sur le changement conceptuel en didactique des sciences. Ces auteurs postulent d'abord que l'apprentissage des élèves est une activité rationnelle :

« Pour comprendre cette vision de l'apprentissage, il faut s'engager à croire en deux idées. La première est que l'apprentissage et la production de nouveaux savoirs sont similaires dans le fait que ce sont deux activités rationnelles. Elles impliquent qu'il faille faire des jugements sur la véracité ou la fausseté d'idées sur la base d'évidences. La seconde est que la rationalité implique le changement dans les idées (dans l'esprit) d'une personne. » (Strike et Posner, 1982, p. 232)

Posner et al. prennent l'« écologie conceptuelle » de l'élève comme lieu où s'exerce l'apprentissage rationnel. Ce concept d'écologie désigne l'ensemble des concepts ou idées possédées par l'individu. De manière plus précise, l'écologie conceptuelle comprend (Strike et Posner, 1985, pp. 216-217) :

- les anomalies;
- les analogies et métaphores;



- les exemples communs et images;
- les expériences passées;
- les engagements épistémologiques, soit les idéaux explicatifs de même que les croyances générales à propos de la connaissance;
- les croyances métaphysiques (par exemple sur l'ordre et la symétrie) et les concepts métaphysiques (comme l'idée d'espace et de temps absolus);
- les connaissances dans les autres domaines et conceptions compétitrices.

La conception de l'élève est située à l'intérieur de cette écologie et elle est vue comme une entité atomique. Selon Hewson, un niveau de description aussi simple est suffisant pour exposer la dynamique rationnelle à la base de l'apprentissage :

« La seconde simplification dans ce modèle est l'implication que les conceptions existantes d'une personne forment une seule unité intégrée et que les nouvelles conceptions sont soit intégrées dans cette unité, ou mémorisées par cœur en tant qu'identités indépendantes, ou encore rejetées. (...) La grandeur des unités peut varier continuellement entre une seule proposition (i.e. mémorisée par cœur) et une grande théorie unifiée. Les conditions pour qu'une nouvelle conception soit incorporée dans une unité restent toutefois les mêmes. Donc la simplification du modèle, tel que présenté, retient les mêmes principes tout en réduisant la complexité. » (Hewson, 1981, p. 393)

Selon ce modèle, dans l'éventualité où l'élève possède une conception initiale (C) qui est conceptuellement irréconciliable avec la conception scientifique enseignée (C'), C doit être remplacée par C'. Pour qu'il y ait réel apprentissage, ce remplacement (d'où l'idée de perspective de rupture) doit être le résultat d'une lutte rationnelle entre les deux conceptions au sein de l'écologie conceptuelle de l'apprenant. Posner et son équipe proposent que le

remplacement (ou accommodation) se produit généralement lorsque les quatre conditions suivantes sont remplies (Posner *et al.* 1982, p. 214) :

- Il doit y avoir insatisfaction envers C;
- C' doit être intelligible;
- C' doit apparaître plausible;
- C' doit être féconde.

Ces conditions doivent être remplies par les conceptions C et C' à l'intérieur de l'écologie conceptuelle de l'apprenant, c'est-à-dire par les relations qu'entretiennent C et C' avec les différentes composantes de cette écologie. Pour que C' s'impose de façon rationnelle, il est donc essentiel que l'écologie conceptuelle de l'apprenant comporte les éléments appropriés. Le processus d'accommodation peut être vu comme une compétition entre les conceptions, où l'emporte celle qui a le statut le plus élevé. Il faut spécifier que l'accommodation, selon les auteurs, n'implique pas seulement une compréhension mais un certain degré d'acceptation. Pour que l'on considère que la personne ait accommodé une nouvelle conception, il faut qu'elle ait une prise minimale sur la compréhension de cette conception. Il ne faut pas que la personne ait une compréhension complète de la conception pour qu'elle l'accepte, mais lorsque la compréhension est minimale, la personne aura un sentiment d'insécurité face à cette nouvelle conception.

Ce modèle de changement conceptuel, axé sur une perspective de rupture, sera pris comme base par plusieurs autres chercheurs qui en ont puisé l'épistémologie pour élaborer leurs modèles.

### **Perspective de continuité**

Selon Legendre (2002), les approches du changement conceptuel qui s'inscrivent dans cette perspective insistent essentiellement sur la continuité entre les connaissances intuitives propres au sujet naïf et les connaissances scientifiques que possède l'expert :

« Elles s'intéressent au processus de raisonnement sous-jacent à l'élaboration des concepts et mettent l'accent sur l'existence d'éléments de connaissance communs à la pensée intuitive et à la pensée scientifique, ou encore au novice et à l'expert. (...) Sans réduire la connaissance scientifique - ou celle de l'expert - à celle du sujet naïf ou novice, il leur apparaît essentiel de mettre davantage en évidence certaines dimensions importantes de continuité entre ces deux paliers de connaissance si l'on veut comprendre le changement conceptuel, c'est-à-dire la nature même des concepts et la façon dont ils se modifient. » (Legendre, 2002, pp. 185-186)

diSessa (1993) précise même que les connaissances constitutives du sens commun, particulièrement en mathématiques et en physique, ne sont pas considérées comme étant nécessairement plus concrètes et davantage centrées sur les caractéristiques de surface des situations que ne le sont les connaissances de l'expert.

diSessa, l'un des premiers chercheurs à adopter la perspective de continuité, s'est intéressé à la compréhension intuitive des étudiants (souvent universitaires) à propos des phénomènes en physique mécanique. Ses recherches voulaient montrer comment la physique newtonienne émerge de la physique intuitive des étudiants par un processus progressif et continu. Son objectif est de défendre l'idée que plusieurs concepts employés en physique mécanique (et en science en général) sont des classes de coordination. Une classe de coordination constitue un ensemble de façons systématiquement connectées d'obtenir de l'information sur le monde (diSessa & Sherin, 1998, p. 1171). Selon diSessa, les concepts de vitesse et de

force constituent des exemples typiques de classes de coordination. Elles sont composées de deux éléments : d'une part les stratégies de lecture d'information (« readout strategies ») sur la situation, et d'autre part le réseau causal (« causal net ») permettant de relier cette information à celle désirée mais non directement observable. Le développement d'une classe de coordination utile se fait en coordonnant adéquatement une ou plusieurs stratégies de lecture avec une ou plusieurs inférences du réseau causal, et d'être capable d'utiliser différentes combinaisons pour obtenir la même information dans des contextes différents (diSessa, 2002, p. 45). Du fait de leur complexité, les classes de coordination pourraient bien ne pas encore exister au niveau de la physique naïve (diSessa, 2002, p. 43).

Le réseau causal est constitué à son tour de deux types d'éléments : des équations et des primitives phénoménologiques, ou p-prims. Les p-prims peuvent être conçues comme des relations causales entre deux ou plusieurs quantités ou qualités. Elles forment ce que diSessa appelle le « sense of mechanism », au cœur de la physique intuitive. Elles sont phénoménologiques parce que d'une part elle provienne souvent d'interprétations superficielles de la réalité vécue. D'autre part, elles le sont aussi parce qu'elles constituent, une fois établies, un vocabulaire riche à travers lequel les gens interprètent et se souviennent de leur expérience (diSessa, 1993, p. 112). Les p-prims sont primitives parce qu'elles sont employées sans justification (elles sont perçue comme évidentes) et qu'elles constituent des structurent mentales atomiques, monolithiques.

Les p-prims sont très nombreuses : il en existe des centaines, voire des milliers (diSessa, 2002, p. 39). Un exemple de p-prim est celle du

« déséquilibre dynamique » : elle permet d'expliquer la dominance d'une influence sur une autre. Si l'une des influences s'accroît ou encore si l'autre diminue, l'équilibre est rompu et la plus forte des deux gagne. Les p-prims sont activées par les caractéristiques du contexte jugées saillantes pour le phénomène considéré, ce qui permet d'expliquer la grande variabilité des réponses des sujets à travers les contextes : la modification d'un aspect superficiel (selon la perspective newtonienne) serait suffisante pour faire activer une p-prim alternative, et donc modifier la prédiction ou l'explication fournie par le sujet.

L'évolution de la physique naïve se fait lorsque les p-prims sont utilisées et que leur fonction change à l'intérieur d'une classe de coordination. Les p-prims en soi ne peuvent pas évoluer étant donné qu'elles sont atomiques. diSessa résume ici cette évolution :

« Le développement d'une intuition physique naïve à celle d'un expert se produit hypothétiquement selon les façons suivantes. Premièrement, la grande collection relativement non structurée de p-prims présentes dans la pensée naïve est mise au point selon l'utilisation qui est faite lorsque la physique est enseignée. La précision n'est établie qu'à de petits voisinages dans le réseau. La priorité est locale et il n'y a pas d'éléments dominants ou centraux. Il n'y a probablement pas de façon « sense-of mechanism » de décider lequel des deux p-prims seront appliquées lors d'un cas de conflit. Lorsqu'il y a un virage vers l'expertise, la priorité de certaines p-prims augmente ou diminue, et les contextes d'activation peuvent subir une expansion ou une contraction, en fonction du nouveau rôle des éléments dans le développement des systèmes de savoir physique. » (diSessa, 1993, pp. 114-115)

L'apprentissage de la physique newtonienne ne se fait pas à l'occasion d'un remplacement de la physique naïve, mais plutôt par un travail complexe d'intégration, au sein d'une classe de coordination, des bribes d'intuition éparses qui la constituent.

Le modèle de diSessa s'intéresse surtout au fonctionnement de la physique naïve, et à son évolution progressive vers la physique newtonienne. La critique que l'on fera à son égard est qu'il ne peut expliquer le changement conceptuel dans tous les domaines de la physique.

### **Incidences**

L'adoption d'un modèle de rupture ou de continuité aura une incidence sur le choix des stratégies pédagogiques. Ainsi, les approches du changement conceptuel qui s'inscrivent dans la perspective de rupture proposeront différentes pistes :

« Premièrement, certaines approches voudront éradiquer les conceptions préalables (naïves) et de les remplacer par des concepts reliés à la connaissance scientifique puisqu'elles ne peuvent être partie intégrante de cette dernière. L'accent sera alors mis sur le diagnostic des erreurs permettant de mieux identifier ce qu'il convient d'éliminer. Les stratégies pédagogiques adoptées consistent à faire prendre conscience à l'élève de la fausseté de ses conceptions initiales puis à les remplacer par des théories ou modèles appropriés. D'autres approches suggéreront de confronter les élèves avec la disparité de leurs propres conceptions par rapport aux concepts scientifiques afin de favoriser un dépassement de la connaissance intuitive dans la direction de la connaissance experte ou savante. On tente ici de déterminer les confrontations efficaces et d'évaluer leur impact sur l'apprentissage. C'est d'ailleurs la perspective qu'adoptent les chercheurs comme Strike et Posner en mettant l'accent sur le conflit cognitif. » (Legendre, 2002, p. 184)

Les approches qui s'inscrivent dans une perspective de continuité privilégient d'autres stratégies pédagogiques. Comme l'apprentissage est vu comme un processus de remodelage graduel et de reconstruction continue des connaissances antérieures, il ne s'agit plus de confronter ou de remplacer les conceptions préalables, mais d'en favoriser l'évolution. L'enseignant doit donc prendre appui sur les connaissances antérieures de l'élève :

« Ses stratégies pédagogiques consistent à mettre en place des situations tablant sur l'émergence et l'exploitation maximale des raisonnements intuitifs et des idées phénoménologiques simples qui pourront être réutilisés de manière efficace dans l'explication de certains phénomènes. L'accent est mis sur le processus de description et d'analyse, c'est-à-dire sur la justification argumentée de l'interprétation d'un phénomène, plutôt que sur la résolution de problèmes et la recherche de solutions. Dans cette perspective, si les erreurs, au sens d'écarts avec les explications scientifiques, sont caractéristiques des phases initiales de l'apprentissage, les élèves apprendront en transformant et en redéfinissant leurs connaissances antérieures de manière sophistiquée plutôt qu'en éliminant ces erreurs. » (Legendre, 2002, p. 187)

## ***2.5. Diverses approches pour l'enseignement des sciences***

Il existe certainement une vingtaine de modèles d'enseignement qui établissent les fondations pour les actions et les interactions entre les étudiants et les enseignants, que ce soit en sciences ou dans d'autres disciplines. Nous avons néanmoins choisi de plutôt survoler les principales approches, plus globales, de l'enseignement et de l'apprentissage des sciences, telles que présentées dans le manuel de Thouin (2004). Selon l'auteur, les approches abordées sont celles qui sont les plus couramment utilisées actuellement par les enseignants en science, un peu partout dans le monde. Ainsi, certains modèles d'enseignement, selon le contenu ou divers facteurs contextuels, pourront faire référence à des approches différentes. La première qui sera présentée, la « mémorisation de concepts », est certainement la plus ancienne et la plus répandue. S'ensuivront les approches selon « l'atteinte d'objectifs opératoires », d'« investigation et de découverte », et de « maîtrise des compétences ». Nous traiterons également du « constructivisme didactique », approche à laquelle il est le plus aisé d'associer notre approche dite « conceptuelle ». Nous compléterons en discutant du rôle fondamental des laboratoires en enseignement des sciences.

### 2.5.1. *La mémorisation des concepts*

Cette approche consiste à retenir un ensemble de définitions, de concepts, de lois et de théories scientifiques (Thouin, 2004). Elle est souvent désignée dans d'autres ouvrages sous le nom d'approche « conventionnelle » ou « traditionnelle ». Tobin, Tippins et Gallard (1994) en résument les principales caractéristiques dans un enseignement des sciences au secondaire, aux États-Unis. Pour ce faire, ils se sont appuyés sur les résultats de trois études (Tobin et Espinet, 1989; Tobin, Espinet, Byrd et Adams, 1988; Tobin et Gallagher, 1987) qui visaient à décrire l'environnement et la « vie » dans des classes traditionnelles de sciences. Selon eux, les professeurs ont recours à des cours magistraux pour introduire les nouveaux concepts, à des activités de groupe afin d'impliquer les étudiants dans les cours, et à des périodes de questions et de lecture pour traiter des éléments contenus dans les manuels de référence. On demande aussi aux étudiants de travailler seuls sur diverses activités ou encore, à de rares occasions, de faire des travaux en petits groupes. Les professeurs tentent de « motiver » leurs étudiants en faisant régulièrement référence aux examens ou aux épreuves sommatives. Les étudiants concentrent donc leurs efforts sur les notions susceptibles d'être évaluées en copiant des notes de cours, en complétant les rapports de laboratoire ou en se concentrant sur les exercices des devoirs. Ces exercices, qu'ils peuvent solutionner en appliquant des formules, exigent rarement une compréhension de haut niveau<sup>1</sup> des concepts impliqués. Dans le cas contraire, le professeur en fait un retour en classe pour en clarifier les concepts. Grâce à la répétition et à la routine, on réussit à inculquer des procédures pour la résolution des problèmes. On peut ajouter que cette

---

<sup>1</sup> L'expression « compréhension de haut niveau », associée à des habiletés cognitives de haut de niveau, sera expliquée à la section 3.1.1, les habiletés associées au cours de sciences.



approche « n'attribue qu'un rôle accessoire à l'expérimentation, qui prend souvent la forme de simples démonstrations (...) et qu'elle n'accorde que peu d'importance au développement de savoir-faire tels que des habiletés motrices ou des compétences (Thouin, 2004, p. 85) ». Il faut toutefois souligner que l'acquisition de définitions et de concepts grâce à la mémorisation est un aspect important de l'enseignement et de l'apprentissage des sciences et qu'il est souvent négligé dans d'autres approches : « Sans la connaissance d'un vocabulaire de base, l'élève est incapable de concevoir, d'exprimer et d'analyser les problèmes qui constituent l'objet d'étude de toute discipline scientifique (Thouin, 2004, p. 86) ».

#### *2.5.2. L'atteinte d'objectifs opératoires*

Dans l'approche centrée sur l'atteinte d'objectifs opératoires, l'apprentissage est défini comme un ensemble de comportements observables, qui sont eux-mêmes décrits au moyen d'objectifs opératoires. Ces derniers sont regroupés en trois grands domaines : le domaine cognitif, le domaine affectif et le domaine psychomoteur. Chacun de ces domaines est peut être détaillé par des taxonomies qui permettent de classifier les objectifs selon des degrés de difficulté croissants. Cette approche entraîne un découpage du contenu en petites étapes connues sous le nom d'objectifs spécifiques (Thouin, 2004).

L'atteinte d'objectifs opératoires se distingue de l'approche par la mémorisation de concepts par le fait que certains objectifs spécifiques du programme de sciences sont liés à l'application, à l'analyse, à la synthèse ou à l'évaluation. Ces objectifs dépassent la mémorisation ou la compréhension de concepts. Bien qu'on retrouve une approche liée à l'atteinte d'objectifs opératoires dans certains manuels scolaires ou dans divers programmes

d'études, elle est considérée comme une approche dépassée par les théories contemporaines du fait que l'apprentissage ne se définit pas par un ensemble de comportements observables mais bien comme un ensemble de représentations mentales.

### 2.5.3. *L'investigation et la découverte*

Dans ce type d'approche, l'apprentissage est perçu comme un processus actif, centré sur la manipulation et la découverte. « Selon cette conception, la structure abstraite des savoirs scientifiques peut être abordée de façon concrète et intuitive par des activités d'investigation à partir de matériel concret. De plus, les stratégies de l'investigation et de la découverte conçues dans un domaine des sciences peuvent être appliquées dans d'autres domaines ainsi que dans d'autres disciplines (Thouin, 2004, p. 87) ».

Une approche par investigation (ou « par enquête », ou « inquiry », selon les manuels) propose principalement que l'étudiant soit considéré comme un enquêteur – chercheur d'information - et une personne capable de résoudre des problèmes. Plusieurs auteurs ont traité de la nature de l'investigation en y référant en tant qu'« inductive thinking », « creative thinking », « discovery learning » ou comme la « méthode scientifique ». La plupart considère que l'essence du principe d'investigation a d'abord été présentée par John Dewey. Ce dernier a proposé que l'investigation soit « une considération active, persistante et attentive de n'importe quelle croyance ou supposée forme de savoir, à la lumière des fondements qui les supportent et des conclusions pour lesquelles on tend. » (Hassard, 1992, p. 210) Pour Dewey, les fondements des croyances apparaissent à travers les procédés d'investigation : la raison, la mise en évidence, l'inférence et la généralisation.

On peut identifier deux types d'investigation, l'une inductive et l'autre déductive.

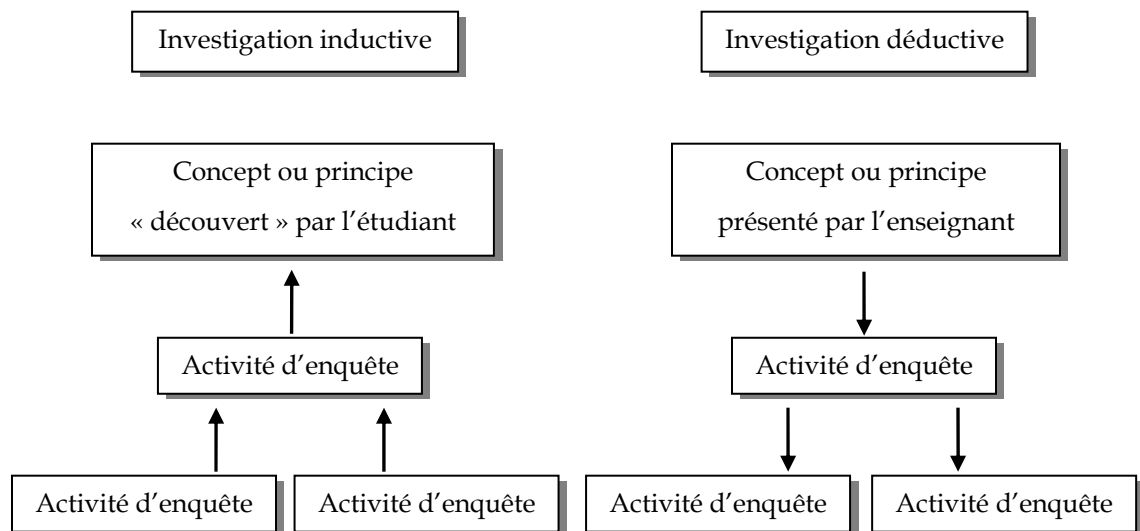
### **Investigation inductive**

La clé de ce type d'investigation est de fournir un événement lié à un problème particulier, par exemple une démonstration. C'est une approche pour présenter un problème à la classe, et non pour illustrer un concept ou un principe scientifique. C'est en fait une contradiction ou un problème que les élèves doivent explorer. Ce type d'investigation est conçu pour engager la classe dans l'exploration d'un problème présenté par une contradiction. Une situation d'investigation inductive devrait commencer par la présentation d'un problème grâce à une démonstration (une contradiction), la description d'un phénomène intrigant, ou encore par un problème défini grâce à l'utilisation d'un matériel préparé.

### **Investigation déductive**

Dans ce second type d'investigation, l'enseignant présente une généralisation, un principe ou un concept, et il engage ensuite les étudiants dans une ou plusieurs activités d'investigation pour qu'ils puissent comprendre le concept. Une fois que la présentation des principaux éléments du concept a été faite grâce à une présentation et à un questionnement, les étudiants travaillent en équipe pour étudier différentes pistes et développer des hypothèses sur chacune des pistes. Une fois que toutes les équipes ont fait leur enquête, l'enseignant peut diriger une activité de discussion où les élèves défendent leurs hypothèses. La figure 1 fait une comparaison entre les investigations inductive et déductive.

**FIGURE 1. Schéma représentant la comparaison entre les investigations inductive et déductive (Hassard, 1992, p. 214)**



Hassard (1992, p.212) propose six règles (ou procédures) que les enseignants trouvent généralement utiles pour conduire une investigation en classe :

- Les questions des étudiants devraient être formulées de façon à ce qu'ils y répondent par oui ou non.
- Une fois qu'ils ont commencé, les étudiants devraient avoir le droit de poser autant de questions qu'ils le désirent. Les étudiants seraient ainsi encouragés à utiliser leurs questions antérieures pour en formuler de nouvelles, et donc s'engager à formuler une théorie.
- Lorsque les étudiants formulent une théorie, l'enseignant devrait s'empêcher de l'évaluer. Il devrait plutôt en tenir compte et poser une question par rapport à celle-ci.
- Les étudiants devraient pouvoir tester leur théorie à n'importe quel moment.
- Les étudiants devraient être encouragés à travailler en équipe pour présenter et discuter de leurs théories.
- Les enseignants devraient fournir du matériel, des écrits ou des livres de référence pour que les étudiants puissent explorer leurs idées.

### **Apprentissage par découverte**

L'approche par découverte, souvent associée à celle par investigation, a été d'abord proposée par Jerome Bruner (Bruner, 1966), lequel parlait d'abord et avant tout d'« acte de découverte », comme si c'était une performance de la part des élèves. L'apprentissage par découverte dans les cours de science engage les étudiants dans des activités conçues pour les aider à assimiler la nouvelle information, les nouveaux concepts et principes. Il y a plusieurs suggestions pratiques que l'enseignant peut implanter pour stimuler un apprentissage par la découverte :

- Comme l'étudiant est l'agent actif dans son apprentissage, l'enseignant de science doit encourager la curiosité de ses élèves. Des événements contradictoires ou des activités d'enquête sont d'excellents moyens pour encourager la curiosité.
- L'information à transmettre devrait être organisée et structurée afin qu'elle soit plus accessible pour l'élève. Le savoir peut être structuré par le biais d'actions, de graphiques, de symboles ou d'énoncés logiques.
- L'utilisation d'activités inductives est basée sur le fait que l'enseignant est conscient des généralisations, des principes ou des concepts que les élèves doivent découvrir. L'enseignant devrait donc fournir des cas spécifiques, des situations ou des exemples où les étudiants auraient à enquêter et ainsi être guidés à faire des découvertes conceptuelles.
- L'enseignant devrait encourager les élèves à développer des systèmes de codages afin qu'ils puissent faire le lien entre les objets et les phénomènes. Une bonne façon d'apprendre grâce à la méthode de découverte serait de travailler avec des situations « casse-tête ».
- Les étudiants doivent être engagés dans des situations où ils doivent résoudre des problèmes de façon régulière.
- L'enseignant devrait également stimuler la pensée intuitive en classe. L'inclusion d'activités qui développent le sens de l'estimation ou qui permettent de deviner vont collaborer à améliorer la pensée intuitive. Des

activités qualitatives lors desquelles les élèves n'ont pas à donner de réponse spécifique à un problème vont également stimuler la pensée intuitive. (Hassard, 1992, pp. 215-216)

Certaines critiques peuvent être formulées quant à l'approche par investigation ou par découverte, et ce, même si les élèves y trouvent un côté stimulant et attrayant :

- Cette approche se traduit parfois, en pratique, par des activités qui prennent l'allure de recettes, dans lesquelles l'élève n'a qu'à suivre les étapes d'un mode d'emploi pour effectuer des manipulations, des observations et des « découvertes » déjà prévues.
- Cette approche postule un passage facile et direct des activités de manipulation aux structures abstraites du savoir scientifique qui n'est pas vérifié par les recherches en didactique des sciences.
- Cette approche postule également un transfert, à d'autres domaines des sciences et à d'autres disciplines, des stratégies d'investigation et de découverte qui, toujours selon les recherches récentes, ne s'effectue pas nécessairement.
- Cette approche, tout comme l'approche centrée sur l'atteinte d'objectifs opératoires et l'approches par compétences, néglige ou simplifie le rôle d'obstacle et le rôle structurant des conceptions initiales des élèves. (Thouin, 2004, p. 87)

#### 2.5.4. *La maîtrise de compétences*

Cette approche, qui a été retenue dans le *Programme de formation de l'école québécoise* du ministère de l'Éducation, du Loisir et des Sports du Québec, est une approche dominante depuis plusieurs années. Elle est fortement associée aux théories de la psychologie cognitive. Dans cette approche, « l'apprentissage est considéré comme une activité qui consiste, pour un élève, à acquérir des connaissances qui permet la résolution de plusieurs

types de problèmes. Les préalables que possède l'élève lui permettent, ou lui facilitent, l'acquisition de cette base de connaissances. Celle-ci est constituée de connaissances déclaratives, telles que des concepts et des propositions, utilisées pour se représenter les objets et les faits d'un domaine donné, et de connaissances procédurales, telles que des règles d'action et des procédures, qui permettent d'agir sur la réalité. » (Thouin, 2004, p. 88)

Les connaissances permettent ensuite aux élèves d'acquérir des compétences, ou encore de développer une capacité à faire différentes tâches. Celles-ci sont de deux types : de reproduction ou de production. Pour les premières, les élèves ont recours à un plan alors que pour les secondes, qui sont d'un niveau de difficulté plus élevé, les élèves n'y ont pas droit. Pour réussir à compléter les deux types de tâches, les élèves doivent développer une motivation suffisante, faire des montages lors desquels ils doivent acquérir des connaissances déclaratives et procédurales nécessaires à la tâche, et une phase de rodage pendant laquelle ils appliquent leurs connaissances.

Cette approche ressemble à celle basée sur l'atteinte d'objectifs opératoires, mais elle s'en distingue du fait qu'on ne s'intéresse pas seulement aux comportements que les élèves devront manifester mais également aux façons dont ils parviendront à ces comportements. L'approche par compétence est fort probablement souhaitable à celles basées sur la mémorisation et l'atteinte d'objectifs opératoires, mais elle peut être critiquée à divers égards :

- Cette approche procède à une analyse des connaissances que l'élève possède avant un nouvel apprentissage, uniquement à la lumière des préalables nécessaires et néglige leur rôle d'obstacle, ainsi que leur rôle structurant.

- Elle ne tient pas compte du fait qu'il est souvent aussi important pour l'élève d'acquérir, ne serait-ce que temporairement, des compétences que d'acquérir des compétences. Le déséquilibre cognitif fait partie intégrante de l'apprentissage, particulièrement en sciences.
- Cette approche, basée sur la capacité à accomplir certaines tâches, est mieux adaptée à des domaines techniques, dont le savoir-faire est la composante principale, qu'à des domaines scientifiques, qui reposent davantage sur le savoir et qui n'impliquent pas nécessairement de montage et de rodage. (Thouin, 2004, p. 88)

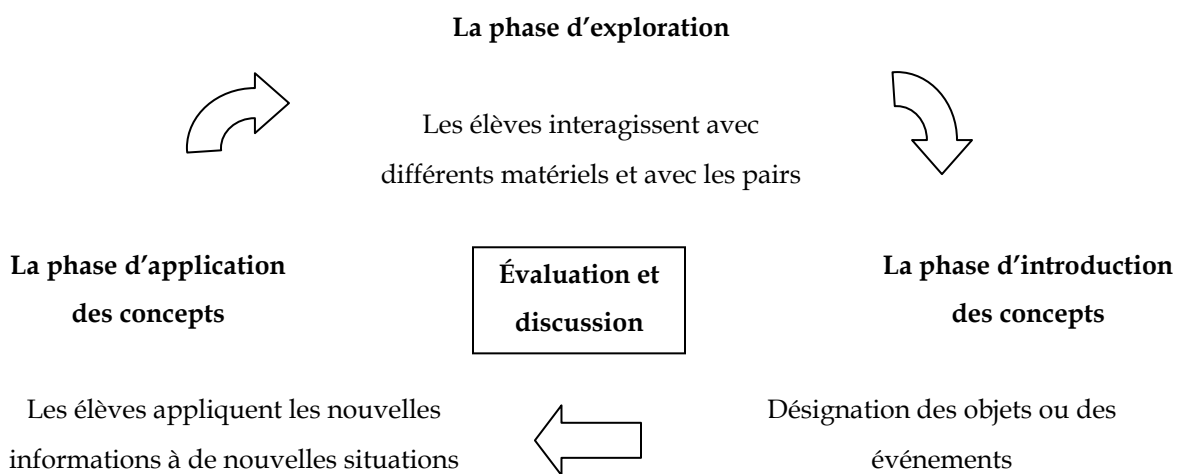
#### 2.5.5. *Le constructivisme didactique*

Pour Thouin, « le constructivisme didactique consiste principalement à susciter une évolution des conceptions ou, dit autrement, un changement conceptuel, qui place l'élève au cœur de ses apprentissages en lui permettant de s'approprier graduellement le savoir. (...) Il vise d'abord l'apprentissage d'un langage permettant d'exprimer des énoncés d'observation, des concepts, des lois, des théories, des modèles et des façons de connaître le monde. (...) Il vise ensuite l'apprentissage de stratégies de résolution de problèmes. Cet apprentissage, encore plus important que le précédent, s'accomplit par le moyen d'activités, dont plusieurs sont des situations-problèmes qui permettent un travail cognitif sur une ou plusieurs conceptions. Ces activités de résolution de problème permettent aux élèves d'examiner le contexte particulier dans lequel leur conception peut avoir une certaine utilité, et, surtout, d'observer avec attention les inconsistances qui peuvent exister entre leurs diverses conceptions, ou entre leurs conceptions et des concepts scientifiques. (...) La résolution partielle ou totale, de ces inconsistances permet aux conceptions des élèves d'évoluer. » (Thouin, 2004, p. 89-90)



L'enseignant qui désire faire appel à cette approche, le constructivisme didactique, pourrait avoir à bâtir une séquence de leçons avec une série de phases d'enseignement et d'apprentissage. Ces séquences sont décrites en tant que cycle d'apprentissage. Hassard, qui traite également de cette approche constructiviste, a introduit un cycle comprenant trois phases qui établissent les bases pour faire des séquences de cours de sciences : l'exploration, l'introduction du concept, et l'application du concept. Le schéma qui suit représente le cycle d'apprentissage :

**FIGURE 2. Le cycle d'apprentissage dans une approche constructiviste (Hassard, 1992, p. 219)**



### **La phase d'exploration**

Pendant cette phase, les étudiants explorent un nouveau concept (ou phénomène) en étant guidés le moins possible. Il se peut que les étudiants aient à faire des observations et à classer des objets. Ils auront aussi à faire des expérimentations pour recueillir des données pour tester des hypothèses. En résumé, cette phase permet aux élèves d'examiner de nouvelles idées et de les confronter aux leurs. Ils doivent être engagés activement en

interagissant avec des idées et avec des pairs, et l'enseignant doit faciliter le travail des élèves en établissant les raisons pour lesquelles ils explorent ces nouvelles idées. Le recours à des événements contradictoires, suivis d'activités scientifiques intéressantes, est un bon moyen d'entrer dans la phase exploratoire, phase durant laquelle l'enseignant a un rôle de « facilitateur ».

### **La phase d'introduction du concept**

Cette fois, l'enseignant joue un rôle beaucoup plus actif en se servant des activités de la phase exploratoire pour introduire les vues scientifiques du concept ou de la théorie sur lesquels les étudiants ont fait une enquête dans la phase précédente. Durant cette phase, les élèves manifestent leur point de vue sur les concepts ou théories, et l'enseignant présente brièvement le sens des concepts et idées selon un point de vue scientifique. Pendant la phase d'introduction, l'enseignant use d'une approche plutôt traditionnelle (mémorisation des concepts) telle que présentée antérieurement pour planifier et présenter ses cours. Toutefois, comme cette phase est une étape intermédiaire, l'enseignant devrait passer rapidement à la prochaine.

### **La phase d'application du concept**

Les étudiants ont maintenant un rôle central en travaillant en équipe sur des activités planifiées pour étendre leur savoir sur les concepts scientifiques. Les activités construites doivent devenir un défi pour les élèves afin qu'ils en débattent et défendent leurs idées. Ces activités doivent représenter un problème et l'enseignant reprend son rôle de « facilitateur ».

### 2.5.6. *Une approche conceptuelle*

Une autre approche d'enseignement, fortement comparable au constructivisme didactique, a été explorée par des professeurs de physique d'université : une approche dite « conceptuelle », insistant sur le raisonnement qualitatif (Brousseau & Vázquez-Abad, 2007). L'un des pionniers dans ce domaine, le professeur Hewitt, en est même venu à écrire un manuel de cours bâti en fonction d'une telle approche (Hewitt, 1989). Ce dernier croit qu'un enseignement associé à une approche conceptuelle accroche la physique aux expériences personnelles des élèves dans le monde de tous les jours. Le professeur devient la personne ressource qui pointe les relations entre les phénomènes nous environnant. Comme cette approche est basée sur un raisonnement qualitatif, l'étudiant doit établir des relations entre les caractéristiques jugées pertinentes d'une situation ou d'un phénomène et faire des inférences à partir de ces relations. Ce type de raisonnement doit être mis à contribution dans la description et l'explication des phénomènes. On doit prioriser le raisonnement et la réflexion, et amener l'élève à découvrir les relations avant d'introduire le formalisme. La seule connaissance du formalisme mathématique ne suffirait pas à assurer la compréhension des relations en jeu dans l'explication des phénomènes (Legendre, 2002). Le professeur doit tenter le plus possible de mettre de côté la partie mathématique « essouffante » des relations afin d'insister sur les concepts à la base de chaque notion. Les équations sont utilisées en tant que « guide de pensée » au lieu d'être une recette pour y « brancher » des valeurs. On veut faire comprendre avant de faire calculer.

La notion de p-prims, développée par diSessa (1993), constitue une illustration de la forme que peut prendre le raisonnement qualitatif. Ces schémas intuitifs permettent de décrire les composantes d'un phénomène, de

les comparer, d'établir entre elles des relations et de prévoir, sur la base de comparaisons qualitatives – « plus grand que... », « égal à... » ou « plus petit que... » -, la direction et l'ampleur d'une variation, mais non sa valeur exacte. Ils servent de schémas explicatifs dans de nombreuses situations (Legendre, 2002). Cette dernière insiste néanmoins sur le fait qu'il n'y a pas d'opposition radical entre raisonnement qualitatif et quantitatif :

Le premier peut très bien porter sur des quantités. C'est le cas (...) lorsqu'on compare qualitativement des rapports différents en référence à un rapport plus simple comme la demie ( $8/11 > 1/2$  et  $7/15 < 1/2$ ). Pourtant dans ce dernier exemple, certaines connaissances arithmétiques sont requises pour effectuer la comparaison puisqu'il faut connaître le double de 8 et le double de 7. Ce qui importe toutefois ici, ce ne sont pas tant les connaissances arithmétiques en jeu que la manière dont elles sont mises en relation pour les inférences. Le raisonnement quantitatif, loin d'exclure le premier, le raisonnement qualitatif, est d'autant plus pertinent qu'il prend appui sur une représentation qualitative du problème ou du phénomène, permettant d'orienter le choix des opérations pertinentes à sa résolution. C'est le cas de « l'expert physicien » qui doit d'abord déterminer la nature du phénomène auquel il est confronté, souvent en référence à une situation prototypique représentative de ce phénomène, avant de sélectionner les principes en jeu ou les opérations pertinentes à son analyse. (Legendre, 2002, pp. 192-193)

Un autre professeur américain ayant produit un manuel de cours axé sur l'approche conceptuelle, le professeur Hobson, contraste celle-ci à une approche traditionnelle, beaucoup plus « appliquée ». Il ajoute que la première valoriserait plutôt les idées alors que la seconde insisterait sur des techniques pour former des scientifiques « opérationnels » (des ingénieurs, par exemple) (Hobson, 1995).

### 2.5.7. *Le rôle des laboratoires*

Comme les laboratoires sont une partie intégrante du processus d'apprentissage des étudiants, on ne peut traiter des différents modèles et approches d'enseignement des sciences sans tenir compte des laboratoires. Millar, Tiberghien et Le Maréchal donnent une définition générale des laboratoires en sciences :

« Ce sont des activités conçues avec attention lors desquelles les étudiants observent ou interagissent avec des objets réels et des matériaux particuliers. Ils se déroulent généralement dans les classes d'enseignement (majoritairement) ou sur le terrain (certains cours de biologie ou sciences de la terre). Leur but fondamental est d'aider les étudiants à faire le lien entre le domaine des objets réels et le domaine des idées. » (Psillos et Niedderer, 2002, p.9)

Les cours de sciences sont souvent divisés en deux parties, une de nature plus théorique et l'autre de nature plus pratique; on peut donc exploiter la partie pratique, les laboratoires, pour permettre aux étudiants de faire le pont entre la théorie et le monde tangible. D'ailleurs, Redish (2003) rappelle qu'on blâme souvent l'école d'enseigner des concepts dénués de sens « dans la vraie vie ». On distinguerait même le raisonnement enseigné à l'école de celui dans la vie courante. Pourtant, comme la plupart des notions traitées en classe sont liées à des compétences que l'élève peut utiliser dans la vie courante, il croit qu'en « contextualisant » un concept à l'aide des laboratoires, on aiderait, dans la plupart des cas, à résoudre des problèmes plus complexes.

On retrouve différents types de laboratoires, selon les objectifs d'apprentissage voulus par l'enseignant. Par exemple, le laboratoire dit « traditionnel » est souvent associé à un enseignement suivant une approche traditionnelle. Une énonciation des différents types de laboratoires, selon l'approche d'enseignement préconisée, sera faite dans le cadre conceptuel.

## 2.6. *Problème spécifique*

Les étudiants ont de la difficulté à transformer leurs préconceptions pour adhérer aux conceptions acceptées par la communauté scientifique. Il y a d'ailleurs deux perspectives principales différentes, l'une de rupture et l'autre de continuité, à l'égard du processus de changement conceptuel des étudiants. Les différentes approches en enseignement des sciences, même si elles n'ont pas été développées en fonction de ces perspectives, vont la régulièrement abonder dans le sens de l'une ou de l'autre pour permettre aux étudiants d'« acquérir » un savoir scientifique. Par ailleurs, Jacobsen, Eggen et Kauchak (1989, p. 203) soulignent que, même si les différents approches permettent d'atteindre des objectifs différents, une approche conceptuelle (la découverte guidée, par exemple) « est beaucoup plus motivante pour les élèves et est beaucoup plus efficace pour acquérir des habiletés de réflexion qu'un modèle « expository » avec une approche traditionnelle. » Un enseignement utilisant une approche axée sur l'acquisition de procédures dans la résolution de problèmes ne favorisait pas non plus la transformation souhaitée des conceptions, et ne permet pas plus une appropriation en profondeur des concepts en physique (Rosenquist et McDermott, 1987).

D'autre part, une approche conceptuelle, axée sur une compréhension qualitative des concepts, intéresse de plus en plus les professeurs qui enseignent des cours de physique d'introduction à l'université. De plus, pour l'enseignement de la cinématique du volet mécanique, les professeurs ont recours au laboratoire pour montrer les liens entre les diverses variables. Comme le contenu des cours à l'université (ceux d'introduction en mécanique) et le contenu des cours de physique en cinquième secondaire (ceux pour le volet mécanique) sont similaires (particulièrement en cinématique), et comme les séances de laboratoires sont de la même forme

(des groupes d'une trentaine d'élèves jumelés en équipes de deux), on est en mesure de se poser la question suivante :

*Dans le cadre d'un cours de cinquième secondaire en physique, est-ce que l'utilisation d'un laboratoire exploitant une approche conceptuelle, comme complément d'enseignement, permet aux élèves de mieux s'approprier les notions de cinématique, qu'un laboratoire qui exploite une approche traditionnelle ?*

### **3. Cadre conceptuel**



Ce chapitre permettra de clarifier les termes de la question spécifique pour pouvoir l'opérationnaliser dans le cadre de ce projet de recherche. Pour ce faire, nous traiterons en premier lieu des particularités de l'enseignement des sciences : les habiletés associées aux cours de sciences et les types de laboratoires. En second lieu, nous insisterons sur les caractéristiques de l'enseignement de la cinématique. Nous traiterons du rôle primordial des graphiques dans ce domaine (en soulignant leur importance pour une compréhension conceptuelle) ainsi que des difficultés que les étudiants rencontrent à leur usage. Nous reviendrons sur le rôle des laboratoires, notamment en expérimentation assistée par ordinateur, et cette fois, en indiquant ceux qui semblent les plus pertinents à utiliser dans le cadre d'un projet traitant de la cinématique. Nous terminerons en présentant un instrument diagnostiquant la compréhension des concepts en cinématique, par l'intermédiaire des graphiques.

### ***3.1. Particularités de l'enseignement des sciences***

Chaque matière du cursus scolaire a une didactique qui lui est propre, et qui tient compte tout particulièrement des préconceptions des étudiants associées à la dite matière. Selon Legendre (1988), la didactique se définit comme une discipline éducationnelle dont l'objet est la synthèse des éléments d'une situation pédagogique. Astolfi *et al.* (1997) poussent plus loin en ce qui concerne la didactique des sciences. Voici deux caractéristiques qu'ils jugent principales de la didactique des sciences :

- « Une première consiste à se centrer sur des champs conceptuels délimités, et à examiner les problèmes spécifiques qui s'y posent du point de vue de leur enseignement et de leur apprentissage. On parlera ainsi par exemple des problèmes didactiques (...) de la dynamique en physique (...).

- Une seconde caractéristique est la prise de conscience de plus en plus nette, que les contenus d'enseignement ne sont pas donnés d'avance par le texte des programmes, mais qu'ils restent encore largement à construire. (...) Il apparaît de plus en plus nécessaire de procéder à des élaborations spécifiques pour chaque niveau d'enseignement, en diversifiant les pratiques de références possibles. (Astolfi *et al.*, 1997, p. 68)

La didactique des sciences s'intéresse donc à la planification de l'enseignement-apprentissage (par questionnement, en laboratoire, par situation-problème, etc.), d'habiletés à développer (poser des questions à orientation scientifique, formuler des hypothèses, observer, prendre des données, etc.), et de moyens particuliers pour l'enseigner.

### 3.1.1. *Habiletés associées aux cours de sciences*

La planification du développement d'habiletés est l'un des piliers de la didactique des sciences. La méthode scientifique, la pensée scientifique ou la pensée critique sont des termes qui ont d'abord été utilisés pour décrire ces habiletés, des habiletés scientifiques. Padilla (1990) les définit comme « des habiletés transférables, utilisées dans plusieurs disciplines en science, et qui reflètent le comportement de scientifiques. » On retrouve une liste des différentes habiletés de processus de base en science, « basic science process skills », mais aussi une liste qui décrit des habiletés de processus intégrées, « integrated science process skills ». Celles de base (plus simples) permettent de développer celles intégrées (plus complexes) (Padilla, 1990; Ostlund, 1992; Hassard, 1992; Rezba et al. 2003) :

## 1. Habiletés de processus de base

- Observer : utiliser les sens pour rassembler toutes les informations à propos d'un objet ou d'un événement.
- Mesurer : utiliser des mesures standardisées ou non standardisées, ou estimer, pour décrire les dimensions d'un objet ou d'un événement.
- Classifier : grouper ou mettre en ordre des objets ou événements dans des catégories basées sur leurs propriétés ou certains critères.
- Communiquer : utiliser des mots ou des symboles graphiques pour décrire une action, un objet ou un événement.
- Déduire : faire une « prédiction éduquée » à propos d'un objet ou d'un événement à partir d'information ou de données rassemblées antérieurement.
- Prédire : établir l'aboutissement d'un événement futur en se basant sur une série d'évidences.

## 2. Habiletés de processus intégrées

- Contrôler les variables : être capable d'identifier des variables qui auront un effet sur un aboutissement expérimental, en ne gardant constant le plus possible que la variable indépendante.
- Définir opérationnellement : établir un moyen de mesurer une variable dans une expérimentation.
- Formuler des hypothèses : établir l'aboutissement auquel on s'attend pour une expérimentation.
- Interpréter les données : organiser les données et établir des conclusions d'après celles-ci.
- Expérimenter : être capable de conduire une expérimentation, ce qui inclut de poser une question appropriée, d'établir une hypothèse, d'identifier et de contrôler les variables, de définir opérationnellement ces variables, de faire le design d'une « bonne » expérimentation, et d'interpréter les résultats de l'expérimentation.

- Construire des modèles : créer un modèle mental ou physique d'un procédé ou d'un événement.

D'autre part, le *National Science Education Standards* (Bybee, 2000) a établi une autre série d'habiletés ou d'aptitudes reliées aux activités d'enquête en science (les laboratoires, par exemple), qui doivent être évaluées dans le cursus scolaire américain :

- Identifier des questions à orientation scientifique;
- Poser des questions à orientation scientifique;
- Formuler des hypothèses;
- Concevoir des investigations scientifiques;
- Conduire des investigations scientifiques;
- Formuler des explications scientifiques;
- Corriger ou réviser des explications scientifiques;
- Faire la communication d'arguments scientifiques;
- Défendre des arguments scientifiques.

Finalement, on peut aussi faire référence à des habiletés cognitives (« thinking skills »). Suite à une longue période d'enseignement des sciences basées sur les habiletés de base, il y a eu un mouvement ayant comme objectif d'enseigner aux élèves à « réfléchir ». Ces habiletés peuvent être classées selon trois catégories (Jacobsen, Eggen et Kauchak, 1989, p. 187) :

**1. Habiletés cognitives essentielles « Essential cognitive processes »**

- Observer;
- Comparer;
- Déduire;
- Généraliser;
- Formuler des hypothèses;
- Reasonner d'une façon inductive et déductive.

## 2. **Habiletés cognitives de haut niveau « Higher order cognitive processes »**

- Résoudre des problèmes;
- Prendre des décisions;
- Avoir une pensée critique et créatrice.

## 3. **Habiletés métacognitives « Metacognitive processes »**

- Réfléchir sur notre raisonnement.

Il faut noter que les trois types d'habiletés présentées (selon les trois « écoles » de pensée) ne sont pas parfaitement comparables ou intégralement juxtaposables. Par exemple, selon Padilla, la formulation d'hypothèses correspond à une habileté de processus intégrée alors que Jacobsen, Eggen et Kauchak considèrent que ce n'est qu'une habileté cognitive essentielle (et non de haut niveau). En fait, les habiletés de processus de base et intégrées semblent plutôt se rapporter directement aux laboratoires, alors que celles présentées par Bybee se rattachent précisément aux activités d'enquête, que ce soit dans le cadre d'un laboratoire ou non. Finalement, le dernier type d'habiletés semble plus général et applicable quelle que soit l'activité scientifique réalisée.

### 3.1.2. *Les laboratoires*

Les laboratoires sont des activités idéales pour permettre l'intégration d'habiletés ou d'aptitudes particulières. Johnston et Al-Shuaili (2001) ont fait une recension et une description des principaux types de laboratoire pratiqués dans le cadre des cours de sciences. Le laboratoire « traditionnel » est régulièrement associé à une approche traditionnelle d'enseignement, mais il peut également faire partie d'une série d'activités dans une approche conceptuelle. Il est d'ailleurs le laboratoire le plus répandu dans les classes de sciences. Les laboratoires par « enquête non guidée », « enquête guidée

(découverte) » et « par problématique » s'apparentent plutôt à une approche conceptuelle.

### **1. Le laboratoire traditionnel**

Les laboratoires traditionnels ou « expository laboratories » sont en général de nature vérificatrice : ils sont directement reliés à la matière théorique vue en classe au moment du laboratoire, et permettent de s'assurer que les lois étudiées sont respectées en laboratoire et dans « la vie de tous les jours ». Ils sont procéduraux, les étapes à suivre étant dans la plupart des cas fournies par le professeur. La tâche à accomplir est fermée puisque l'étudiant (ou l'équipe) ne sort pas du cadre prescrit. Aucun accent n'est mis sur la réflexion et ils sont donc très efficaces, administrativement parlant, compte tenu de la rapidité d'exécution. Tobin, Tippins et Gallard (1994) ajoutent qu'on n'y accorde que peu de place à la planification, à l'organisation de l'expérimentation et à l'interprétation des données. Le laboratoire traditionnel est donc conçu pour faciliter le développement d'habiletés cognitives essentielles ou de processus de base, l'apprentissage par cœur ou encore la résolution de problèmes simples. Hofstein *et al.* (2004) ont établi une liste d'habiletés ou d'aptitudes précises à développer dans le cadre de ce type de laboratoire :

- Conduire chacune des étapes de l'expérimentation;
- Observer les événements clés;
- Noter les résultats;
- Analyser les données dans le but de confirmer ou d'infirmer des relations théoriques.

### **2. Le laboratoire par « enquête non guidée »**

Ce type de laboratoire est fréquemment utilisé dans le cadre de projets de recherche de fin d'année, au collégial ou à l'université. La méthode adoptée

est inductive, comporte un objectif inconnu pour l'apprenant et oblige ce dernier à créer ses propres procédures en laboratoire. Elle est centrée sur l'étudiant, contient moins de directives pour l'apprenant et lui concède plus de responsabilités pour les procédures que dans le cas des laboratoires « traditionnels ». Pour que l'étudiant s'approprie les concepts dans ce type de laboratoire, il doit formuler un problème, faire des liens avec d'autres laboratoires antérieurs, prédire les résultats, identifier la procédure juste et faire toute la recherche. Le laboratoire par « enquête non guidée » crée un environnement de travail permettant à l'apprenant d'atteindre plusieurs objectifs, mais il faut accorder un temps de réalisation considérable, des frais potentiellement élevés, et il exige beaucoup d'énergie de la part des organisateurs. Pour que la méthode d'enquête soit efficace, il faut que l'étudiant acquière certains savoirs et des méthodes pratiques, entre autres grâce au laboratoire traditionnel. De plus, l'étudiant doit être mentalement engagé en ayant confiance en son savoir, en s'appropriant la tâche pour la mener à terme, et en comprenant bien le but visé.

### **3. Le laboratoire par « enquête guidée »**

Le laboratoire de « découverte », ou par « enquête guidée », tout comme le laboratoire par « enquête non guidée » est inductif, mais il diffère en ce qui a trait à l'objectif et à la procédure. Dans le laboratoire non guidé, ni le professeur ni l'apprenant ne connaissent le résultat, alors que dans le laboratoire « découverte », le professeur guide les apprenants vers un objectif désiré. Encore une fois, ce type de laboratoire demande plus de temps et est plus coûteux qu'un laboratoire « traditionnel ». Hofstein *et al.* (2004) complète sa description en ajoutant qu'il est constitué de deux phases, soit la « pré-enquête » et l'« enquête ». La pré-enquête s'apparente au laboratoire traditionnel puisque les étudiants doivent suivre des instructions

procédurales pas à pas. La seconde phase, l'enquête, est une tâche ouverte (variera en fonction des équipes de travail) puisque les étudiants doivent formuler des hypothèses suite à un questionnement et tenter de les solutionner. Ils doivent développer les habiletés (et aptitudes suivantes :

Pour la pré-enquête :

- Conduire chacune des étapes de l'expérimentation;
- Observer les événements clés;
- Noter les résultats;

Pour l'enquête :

- Poser des questions et formuler des hypothèses sur les résultats obtenus antérieurement;
- Planifier une expérimentation qui tenterait de vérifier leurs hypothèses;
- Faire l'expérimentation planifiée en respectant des limites du contexte;
- Analyser les résultats et les présenter d'une manière scientifique.

#### **4. Le laboratoire par « problématique »**

L'enseignant, dans ce type de laboratoire, adopte un rôle actif et stimulant en posant un problème aux apprenants et en leur fournissant le matériel de référence nécessaire. Il visera, en faisant des séances de groupes au besoin, à diriger les étudiants vers une solution correcte au problème. L'enseignant facilite les apprentissages au lieu de fournir directement le savoir aux étudiants. Dans le cadre de cette approche, les étudiants font face à une problématique pour laquelle il manque d'information cruciale. Les étudiants doivent donc redéfinir le problème dans leurs propres termes et trouver le moyen d'accéder à l'information manquante à l'aide d'une procédure. Par la suite, ils doivent faire l'expérimentation les menant à la solution. La problématique doit être claire mais elle peut se résoudre de diverses façons. De plus, il faut qu'elle soit conceptuellement simple pour ne pas que les



étudiants se perdent dans la nature même du sujet. Encore une fois, ce type de laboratoire gruge beaucoup de temps en classe et exige beaucoup, tant du professeur que de l'étudiant. Comme le laboratoire par « enquête guidée », l'enseignement par « problématique » permet à l'étudiant d'accéder à des habiletés cognitives de haut niveau. Il développe néanmoins une méthode déductive puisque les étudiants rencontrent d'abord les concepts et les techniques sous-jacentes avant de faire leur expérimentation. On l'utilise fréquemment dans les programmes universitaires de médecine nord-américains. Voici une série d'étapes principales (celles-ci sont plutôt cycliques que linéaires) :

- Identifier un problème pour investiguer et tenter une hypothèse;
- Concevoir une expérimentation pour vérifier l'hypothèse;
- Faire l'expérimentation et recueillir les données dans la forme appropriée;
- Interpréter les résultats et évaluer les conclusions en fonction de l'hypothèse à vérifier.

Le tableau suivant présente, en résumé, les principales caractéristiques de chacun des types de laboratoire. Les avantages et inconvénients associés à chacun des types, pour ce projet de recherche, seront discutés dans le prochain chapitre (3.2.3).

<p><b>Tableau I.</b> Caractéristiques des divers types de laboratoire (Johnston et Al-Shuaili, 2001)</p>				
	<i>Caractéristiques</i>			
<i>Types</i>	Objectifs	Méthode	Approche	Procédure
Traditionnel	Prédéterminés	Déductive	Traditionnelle	Fournie
Enquête non guidée	Non déterminés	Inductive	Conceptuelle	Construite
Découverte	Prédéterminés	Inductive	Conceptuelle	Fournie
Problématique	Prédéterminés	Déductive	Conceptuelle	Construite

Les enseignants de toutes les branches des sciences auront donc, à divers moments (primaire, secondaire, collégial ou universitaire) et pour différents thèmes (biologie, chimie, physique, etc.), le choix d'intégrer à leur cours des laboratoires variés et ainsi lier la théorie au monde tangible qui environne les étudiants. Chaque type de laboratoire permet de développer des habiletés différentes, et ce, en fonction des objectifs d'enseignement que le professeur s'est fixé. Le contenu du cours (concept prescrit comme, par exemple, la cinématique) aura une incidence très importante sur le choix des laboratoires pour que les habiletés à développer le soit de façon efficace.

### ***3.2. L'enseignement de la cinématique***

La cinématique est l'étude du mouvement des objets, et plus particulièrement l'étude de leur déplacement, vitesse et accélération. Ce mouvement peut être analysé grâce aux équations mathématiques, reliant les variables du mouvement (temps, positions initiale et finale, vitesses initiale et finale et accélération), et grâce à l'interprétation de graphiques. Les équations permettront de résoudre rapidement des problèmes quantitatifs alors que les graphiques seront utilisés autant pour interpréter qualitativement un mouvement (en fournissant par exemple des informations sur le déplacement, la vitesse ou l'accélération d'un mobile) que pour obtenir des données quantitatives suite à leur analyse.

Les étudiants ont, la plupart du temps, de la facilité à comprendre des définitions telles que le déplacement ou la vitesse. Ils savent que le changement de position d'un objet produira inévitablement un déplacement. Aussi, la vitesse est associée à un changement de position qui se produit en un certain temps. Ils sont habitués à entendre parler de ce dernier concept

puisque à chaque randonnée dans un véhicule de transport ils seront confrontés au concept de vitesse du véhicule (par exemple, une vitesse maximale de 30 km/h dans une zone scolaire). Par contre, lorsqu'il est temps de considérer la variable accélération, ils auront régulièrement de la difficulté à en donner le bon sens. Bien sûr, lorsque le véhicule démarre et augmente sa vitesse en un certain temps, on dira qu'on accélère. Mais lorsque le véhicule roule à une vitesse constante (vers l'arrière ou vers l'avant) et que l'on applique les freins, on dira qu'on ralentit, sauf que les élèves auront de la difficulté à visualiser le sens de l'accélération (contraire au mouvement) dans un pareil cas (Hale, 2000). Les équations mathématiques (voir le tableau II) permettront de trouver une réponse numérique dans des problèmes quantitatifs, mais comme ces dernières ne fournissent pas le signe associé à chaque variable (l'élève doit ajouter lui-même le signe correspondant), il arrive régulièrement que les élèves n'arrivent pas à solutionner ces problèmes. Comme les graphiques sont une représentation d'une situation réelle, ils peuvent aider à la compréhension des étudiants puisque les variables sont présentées dans une autre « langage » (Beichner, 1994). Alors, quand les étudiants comprennent les mécanismes des graphiques, ils sont mieux outillés pour étudier le mouvement des objets selon le graphique présenté. Ils pourront connaître, par exemple, le sens de l'accélération en observant la variation de la vitesse en fonction du temps sur un graphique de la vitesse en fonction du temps. S'il s'avère que cette variation est positive, ils sauront que l'accélération est produite vers l'avant. De plus, grâce encore aux graphiques, ils peuvent obtenir des valeurs quantitatives s'ils effectuent la pente ou l'aire sous la courbe, selon le cas et le graphique présenté.

<i>Tableau II. Équations du mouvement rectiligne (Bouchard, 1992).</i>	
<i>À vitesse constante :</i> <i>MRU</i>	<i>À accélération constante :</i> <i>MRUA</i>
$v = \frac{\Delta S}{\Delta t}$	$2a\Delta S = v_f^2 - v_i^2$ $\Delta S = v_i\Delta t + \frac{a\Delta t^2}{2}$ $a = \frac{(v_f - v_i)}{\Delta t}$ $\Delta S = \frac{(v_i + v_f)\Delta t}{2}$
<p><i>N.B. Les variables sont sous forme scalaire.</i></p> <p>Où <math>v</math> : vitesse    <math>v_i</math> : vitesse initiale    <math>v_f</math> : vitesse finale    <math>\Delta S</math> : déplacement</p> <p><math>a</math> : accélération    <math>\Delta t</math> : variation de temps</p>	

Ainsi, les étudiants qui entament des cours sur la cinématique ont déjà une compréhension des concepts de distance, de vitesse et d'accélération basée sur leur expérience personnelle. Combinée à leurs notions apprises sur les graphiques, cette compréhension doit néanmoins être confrontée aux notions scientifiquement acceptées, et l'une des façons les plus efficaces pour arriver à indiquer les erreurs de concepts aux étudiants est de recourir aux expériences pratiques, les laboratoires, et de les relier aux concepts mathématiques, les graphiques et les équations (Hale, 2000).

### 3.2.1. *Le rôle des graphiques*

Le graphique est un outil mathématique qui permet de représenter la relation entre deux variables décrites par une équation. En science, il est construit à partir de données obtenues empiriquement. Les graphiques sont des outils essentiels car ils permettent d'élaborer des activités d'apprentissage traitant d'un seul point d'une relation ou de la relation en entier. Les étudiants peuvent les construire et les interpréter. La construction implique de tracer les points des données, de sélectionner les échelles des axes, d'identifier les points et de les tracer. L'interprétation exige que l'étudiant donne, pour une certaine situation, un sens au graphique, ou à une portion de celui-ci. Cette interprétation peut être qualitative ou quantitative. Lors de l'interprétation qualitative, l'étudiant doit regarder le graphique dans son ensemble et développer sa compréhension de la relation entre les variables. Cette étape est essentielle avant de passer à l'interprétation quantitative. Cette dernière exige que l'on ait recours aux nombres pour trouver l'équation de la courbe ou pour déterminer les paramètres de celle-ci.

En cinématique, les graphiques sont essentiels pour permettre la compréhension des variables principalement traitées, soit le déplacement, la vitesse ou l'accélération. Les paramètres des graphiques, la pente de la courbe ou l'aire sous la courbe par exemple, permettent de quantifier des variables ou d'interpréter rapidement une situation. Dans un article traitant de l'enseignement de la construction et de l'interprétation des graphiques en sciences, Jackson (1993) insiste sur l'importance de l'outil graphique, non seulement pour l'exploration mais également pour la communication des résultats. De plus, les graphiques sont souvent utilisés pour représenter les données issues d'expériences en laboratoire : « En science, plus que dans n'importe quel domaine, les étudiants devraient être poussés à prédire des

relations entre des variables et à quantifier ces relations (...) la construction et l'interprétation de graphiques sont des activités très importantes en enseignement des sciences puisqu'elles sont une partie intégrante de l'expérimentation, le cœur des sciences. » (McKenzie et Padilla, 1986, p. 572)

D'après Beichner (1994), « les professeurs sont généralement tentés d'utiliser les graphiques comme une sorte de second langage, en supposant que leurs étudiants peuvent extraire la majorité de l'information riche qui s'y retrouve. » (Beichner, 1994, p. 750) Dans une étude faite par ce chercheur où il a développé un instrument qui mesure la compréhension qu'ont les étudiants des graphiques en cinématique, il en arrive malheureusement à la conclusion que ceux-ci ont de sérieuses lacunes quant à l'interprétation des graphiques en cinématique. Beichner a répertorié plusieurs difficultés avec lesquelles les étudiants sont confrontés :

- Ils considèrent les graphiques comme des photographies d'une situation. Ils ne les considéreraient pas comme des abstractions mathématiquement représentées, mais plutôt comme la reproduction concrète d'un mouvement survenu.
  - Ils confondent la pente et l'ordonnée du graphique.
  - Ils confondent les diverses variables de position, de vitesse et d'accélération. Ils croient également que les graphiques de ces variables pour une même situation devraient être identiques.
  - Ils réussissent à calculer la pente lorsque la courbe passe par l'origine, mais ils ont de la difficulté si la courbe n'y passe pas.
  - Ils ne comprennent pas la signification de l'aire sous la courbe.
  - Ils n'utilisent pas les calculs de pente dans la bonne situation, ou n'utilisent pas convenablement les valeurs des axes pour le calcul de l'aire sous la courbe.
- (Beichner, 1994, p. 751)

Si des erreurs surviennent lors de l'analyse d'un seul graphique, Brasell (1987) a également répertorié des erreurs commises par les étudiants lorsqu'ils font des liens entre différents graphiques (pour le passage, par

exemple, du graphique de la position en fonction du temps à celui de la vitesse en fonction du temps). Les étudiants ont d'ailleurs plus de facilité à interpréter des graphiques simples ayant des variables mesurables que d'autres ayant des variables plus complexes, abstraites ou dérivées d'autres variables. Par exemple, les graphiques de vitesse en fonction de temps sont plus difficiles à interpréter que ceux de la position en fonction du temps, et ceux de l'accélération en fonction du temps le sont encore plus (Brasell, 1987).

Dans une autre étude traitant des habiletés avec les graphiques en cinématique des élèves du secondaire, Brasell et Budd Rowe (1993) ont fait ressortir d'autres erreurs typiques associées à la compréhension des graphiques. En effet, le type de description textuelle d'un phénomène représenté sur un graphique peut avoir une incidence sur sa compréhension réelle. Les élèves ont plus de difficultés à choisir un graphique associé à un énoncé décrit dans un langage courant (le mobile se déplace constamment vers le détecteur de mouvement) que lorsqu'il est décrit dans un langage scientifique (mouvement avec une vitesse constante positive). La tâche est effectivement plus complexe lorsque l'élève doit d'abord extraire l'information pertinente du texte courant à propos des variables physiques, et ensuite faire une translation de ce système de représentation (le texte) vers un autre (le graphique). Cette translation d'un système de représentation vers un autre peut également être une source de difficultés pour les élèves. Ces derniers ont plus de facilité à faire la translation d'un graphique vers un texte (associer un graphique à diverses descriptions textuelles) que l'inverse, soit d'un texte vers un graphique (associer une description textuelle à des graphiques).

Malgré toutes les difficultés rencontrées par les étudiants, l'utilisation des graphiques reste une composante essentielle associée à la compréhension des concepts en cinématique. Les étudiants peuvent confronter leurs préconceptions à propos du mouvement avec leur nouvelle vision déduite de leur analyse et de leur compréhension des graphiques.

Finalement, on retrouve une bonne partie des habiletés de processus mentionnées antérieurement, dans la lecture et l'appropriation des graphiques en cinématique. Premièrement, on retrouve l'observation, la déduction, la communication et la prédiction. Deuxièmement, on retrouve aussi l'interprétation de données comme habileté de processus intégrée. Si l'utilisation de graphiques vient à la suite de prise de données récoltées lors d'un laboratoire, alors, la quasi-totalité des habiletés de processus, de base ou intégrées, sont mises à profit par l'étudiant.

### *3.2.2. Le rôle des laboratoires et de l'expérimentation assistée par ordinateur (ExAO)*

Le laboratoire est très utilisé pour permettre aux étudiants de s'approprier les notions en cinématique. Dans une étude réalisée avec des étudiants de première année de l'université de Washington, Rosenquist et McDermott (1987) ont fait le choix d'une approche conceptuelle pour enseigner la cinématique. Après avoir remarqué que les étudiants avaient surtout du mal à interpréter des graphiques de mouvement d'objets (aspect primordial dans la compréhension de la cinématique), ils ont élaboré une série d'activités d'apprentissage en cinématique. L'étude avait pour but de déterminer l'impact d'une observation directe de mouvements réels, en laboratoire, sur le développement d'une compréhension qualitative de la vitesse, sur la



distinction des concepts de vitesse, d'accélération et de position, et sur les relations existantes entre différents concepts cinématiques. Ils ont travaillé en laboratoire pour permettre aux étudiants de visualiser les mouvements, en direct. Les chercheurs ont comparé les résultats des étudiants ayant suivi les deux types d'approches, celle conceptuelle et une autre plus traditionnelle, lors d'une mise en situation en cinématique. Les étudiants des deux groupes devaient passer des entrevues, avant et après la mise en situation, lors desquelles ils devaient réaliser différentes tâches en lien avec la démonstration d'un mouvement réel de deux balles roulant sur des rails parallèles. Les tâches que les étudiants devaient réaliser étaient similaires à celles présentées lors de la mise en situation vue par les étudiants du groupe suivant l'approche conceptuelle. Pour évaluer leur compréhension qualitative d'un concept de cinématique, les chercheurs regardaient la capacité des étudiants à bien utiliser le concept (la pente dans un graphique de la position en fonction du temps, par exemple, qui correspond à la variation de position en fonction du temps, soit la vitesse) dans une situation nouvelle. L'efficacité des méthodes d'enseignement (démonstrations multiples, distinctes les unes des autres, pour chacun des concepts) était difficile à évaluer. Néanmoins, les résultats ont permis de conclure que l'approche conceptuelle utilisée dans cette étude donne généralement une compréhension plus approfondie des concepts travaillés que dans le cadre d'un enseignement plus traditionnel.

Ainsi, pour une séquence de cours axés sur un laboratoire en cinématique, on voudra, la plupart du temps, insister sur l'interprétation des résultats obtenus par les graphiques. Pour ce faire, il faut qu'un maximum du temps de laboratoire y soit alloué. Le traçage des graphiques exige un délai considérable entre l'événement mesuré et l'interprétation du phénomène

physique. Il s'ensuit généralement une perte d'informations relatives à l'expérience en soi. Une technologie développée dans la première partie des années 1980 permet de réduire le délai entre la prise des mesures et l'analyse des graphiques, il s'agit de l'ExAO ou le MBL (Berger *et al*, 1995; Laws, 1991; Linn, 1988; Nonnon, 1986; Tinker, 1996; Tinker & Papert, 1989). Le terme français ExAO signifie « expérimentation assistée par ordinateur » alors que le terme MBL vient de l'anglais (*microcomputer-based laboratory*). L'ExAO permet d'obtenir des données sur un ordinateur grâce à différentes sondes (thermomètre, détecteur de mouvement, dynamomètre, voltmètre, ampèremètre, etc.) qui produisent des impulsions électriques. Celles-ci sont transformées en données numériques par l'intermédiaire d'une interface qui est branchée à l'ordinateur. Ce système peut recueillir des données d'un laboratoire traditionnel et tracer, en temps réel, la représentation graphique d'une variable en fonction d'une autre indépendante (souvent le temps). L'élève peut faire des prédictions en termes de graphique pour une situation donnée, en observer les résultats et en interpréter les résultats obtenus. Par exemple, on pourrait obtenir le graphique de la position en fonction du temps d'un mobile propulsé par un ventilateur qui s'éloigne d'un détecteur de mouvement. Par la suite, on pourrait, grâce à un logiciel ExAO, tracer le graphique correspondant de la vitesse ou de l'accélération de ce mobile, en fonction du temps. S'il advenait qu'une erreur se produise lors de l'expérimentation, on n'aurait qu'à réinitialiser le logiciel et à recommencer jusqu'à ce que les données nous semblent satisfaisantes.

Ce type de laboratoire délivre donc les élèves de la longue et laborieuse tâche de collecter les données, de les manipuler et de tracer les graphiques en leur permettant de concentrer leur attention sur l'interprétation et la compréhension de l'expérience (Brasell, 1987; Mokros & Tinker, 1987).

L'ExAO permet de sauver du temps pour le traçage des graphiques mais aussi de visualiser en temps réel le lien entre deux variables. Elle permet en plus de multiplier les expériences pour tester une hypothèse. Cette simultanéité entre l'action expérimentale et la représentation graphique permet d'augmenter les habiletés des élèves à :

1. Tracer des graphiques linéaires (Mokros & Tinker, 1987; Linn, Layman & Nachmias, 1987);
2. Les interpréter (Brasell, 1987; Mokros & Tinker, 1987; Linn, Layman & Nachmias, 1987);
3. Éliminer certaines préconceptions reliées à leur construction (Mokros & Tinker, 1987).

De plus, Dykstra, Boyle et Monarch (1992) ont conclu que les activités en ExAO sont celles qui sont les plus efficaces pour que les élèves réussissent à avoir une vision qui différencie, en cinématique, la vitesse de l'accélération. Ils réussissent à percevoir cette différenciation lorsqu'ils conçoivent les graphiques comme des représentations du mouvement. Selon Linn, Layman & Nachmias (1987), comme les graphiques sont le résultat immédiat de l'expérimentation, les élèves ne perçoivent plus ceux-ci en tant qu'image statique mais plutôt comme une relation dynamique entre deux variables. On peut rechercher et corriger les préconceptions des étudiants en rendant les concepts « abstraits » plus concrets par l'intermédiaire d'un feedback immédiat. L'ExAO s'avère donc un outil de prédilection, dans le cadre de laboratoires, pour déterminer la compréhension des concepts de cinématique par l'intermédiaire des graphiques.

### 3.2.3. *Le choix des laboratoires en cinématique*

Pour l'enseignement de la cinématique au secondaire, on a recours à des types de laboratoires précis. Une énonciation des différents types existant en enseignement des sciences a été faite précédemment. Comme le but de ce projet de recherche est de confronter une approche traditionnelle à une autre de nature conceptuelle, on y retrouve deux types de laboratoire. Il est certain que le laboratoire traditionnel est retenu puisqu'il adopte d'une part une approche d'enseignement traditionnelle, contrairement aux trois autres. D'autre part, il s'avère être un type très simple à reproduire en classe, qui s'adapte facilement à un contenu traitant de cinématique. Les étudiants peuvent facilement « vérifier », par exemple, le comportement d'un mobile accéléré uniformément grâce à divers graphiques mettant à profit la vitesse ou l'accélération.

En ce qui concerne le choix d'un laboratoire s'inscrivant dans une approche conceptuelle, il faut premièrement tenir compte du fait que la question de recherche cible un enseignement dans une école secondaire. Dans leur description, Johnston et Al-Shuaili (2001) mentionnent que le laboratoire par « problématique » est surtout utilisé dans le cadre de programmes universitaires, pour de petits groupes d'étudiants. La motivation personnelle des étudiants est importante car ils peuvent tout simplement se perdre dans l'exploration de leur problématique ou littéralement abandonner, faute de ressources. Une présence accrue du professeur est nécessaire afin que les étudiants restent sur la bonne voie, et qu'ils atteignent les objectifs liés à la problématique. Il semble donc impossible de concilier ces deux aspects pour le niveau secondaire, étant donné que les groupes d'élèves dont il est question dans ce projet de recherche sont beaucoup plus nombreux (38 élèves par groupe). De plus, nombre d'entre eux n'ont pas nécessairement

une volonté intrinsèque élevée au point de vouloir à tout prix explorer à fond leur problématique. L'enseignant ne peut pas non plus accorder beaucoup de temps à chaque dyade (élément essentiel de ce type de laboratoire), ce qui implique que les équipes peuvent s'égarer dans leur mandat. Pour les mêmes raisons, le laboratoire par « enquête non guidée » n'est pas approprié pour une classe de secondaire. Celui-ci pourrait être encore plus complexe à gérer puisque chaque équipe pourrait choisir une procédure différente, étant donné que les procédures doivent être construites par les étudiants. Le laboratoire par « enquête guidée » semble le plus approprié dans le cadre de ce projet puisque le professeur, comme les étudiants, connaît l'objectif final du laboratoire. Le professeur peut planifier : il connaît les « pièges » que les étudiants peuvent rencontrer, il peut prévoir les difficultés procédurales dans l'atteinte des objectifs, et comme le nom du type de laboratoire le mentionne, il devient un meilleur « guide » pour un groupe considérable d'étudiants. Il faut aussi tenir compte de la maturité des étudiants : les deux autres types de laboratoire nécessitent une plus grande maturité de la part des étudiants, et c'est pour cette raison qu'on les rencontre plutôt au niveau universitaire.

L'utilisation d'un laboratoire par « enquête guidée » peut se justifier aussi en fonction du contenu à enseigner. Le laboratoire « par problématique » est utile pour un projet de grande envergure. Par exemple, en médecine, les professeurs auront recours à ce type de laboratoire pour comprendre le fonctionnement du système nerveux. De nombreuses variables entrent en compte, alors que la cinématique cible seulement quatre variables, et le lien qu'elles ont entre elles. Il semble plus logique de fonctionner par enquête pour comprendre le lien, présenté graphiquement, entre le déplacement et la vitesse. Les étudiants peuvent se poser des questions quant au lien entre les variables et ainsi procéder à une expérimentation pour déterminer si leur

hypothèse est juste. Le laboratoire « par problématique » est déductif, ce qui permet aussi de le rejeter puisque pour fonctionner par déduction, il faudrait que les étudiants aient déjà travaillé avec des graphiques de cinématique, ce qui n'est pas le cas. Finalement, le choix entre « enquête guidée » ou « enquête non guidée » est simple à partir du moment où les objectifs sont connus ou non des étudiants. Ces derniers connaîtront déjà les liens existants entre les variables puisque nous aurons auparavant établi le lien mathématique entre les variables. Il leur restera à connaître le lien graphique entre elles, ce qui implique qu'ils sauront les objectifs à atteindre. Les objectifs étant connus, il faut que ce soit le laboratoire par « enquête guidée » qui soit choisi.

#### *3.2.4. Instrument mesurant la compréhension des concepts en cinématique par l'intermédiaire des graphiques*

Dans le problème spécifique, on précise qu'on veut comparer deux types de laboratoire et déterminer si les élèves s'approprient mieux les notions de cinématique avec un laboratoire exploitant une approche conceptuelle qu'avec un laboratoire exploitant une approche traditionnelle. Afin de connaître le niveau de compréhension des notions de cinématique, il faut avoir un instrument de mesure. Beichner (1994) a conçu un test de la sorte, le « Test of Understanding Graphs in Kinematics (TUG-K) » (voir l'annexe 7 pour la version traduite en français et fournie par l'auteur). Il a été développé et analysé pour montrer que les étudiants ont de la difficulté à interpréter les graphiques en cinématique, mais aussi pour devenir un outil diagnostique utile pour des recherches connexes. Pour son étude seulement, ce chercheur a recueilli des données provenant de 895 étudiants du secondaire et du collégial. Suite à la transmission du test à 134 étudiants de collèges

américains, le TUG-K a été retravaillé et amélioré à plusieurs reprises avant de connaître sa forme finale.

Les informations obtenues suite à la compilation des résultats du test ont permis de mieux connaître et de détecter les principales difficultés des étudiants lors de l'interprétation des graphiques, thème déjà traité à la section 3.2.1 de ce devis. Beichner a établi, suite à la consultation de professeurs et de manuels de référence, une liste d'objectifs présentés dans le tableau III. Il faut noter qu'aucun objectif relié à la construction de graphique n'a été pris en compte dans la construction du test. Chaque objectif est évalué, en moyenne, par trois questions objectives différentes, ce qui fait 21 questions en tout pour cet outil.

<i>Tableau III. Objectifs du test TUG-K (Beichner, 1994).</i>	
<i>La question fournit...</i>	<i>L'étudiant doit...</i>
1. Graphique Position-temps	Déterminer la vitesse
2. Graphique Vitesse-temps	Déterminer l'accélération
3. Graphique Vitesse-temps	Déterminer le déplacement
4. Graphique Accélération-temps	Déterminer le changement de vitesse
5. Graphique d'un mouvement	Sélectionner un graphique correspondant au premier
6. Graphique d'un mouvement	Sélectionner une description textuelle
7. Description textuelle d'un mouvement	Sélectionner le graphique correspondant à l'énoncé

Même si ce test associe tous les objectifs à atteindre avec des graphiques en cinématique, il n'en demeure pas moins un outil très intéressant pour cette portion de la physique mécanique puisqu'il permet d'évaluer la compréhension des élèves pour chacune des variables étudiées. Dans certains cas, les élèves doivent partir d'un texte et en extraire l'information physique

pour ensuite construire un graphique selon les paramètres spécifiés. Les élèves ne peuvent donc pas simplement connaître par cœur les méthodes d'analyse des graphiques (étude des axes, aire sous la courbe ou pente) mais bien comprendre l'information recueillie pour chacune des variables et choisir comment en représenter son changement (ou sa constance) en fonction du temps. Dans d'autres cas, ils doivent comprendre l'impact, par exemple, d'une accélération constante sur la vitesse et ensuite sur le déplacement. Il leur faut donc penser d'abord que la vitesse augmentera de façon constante et donc qu'à chaque seconde, le mobile parcourra de plus en plus de distance, et ce, de façon quadratique. Finalement, on exige même que les étudiants réussissent à convertir en langage courant le parcours suivi par un mobile dont ne connaît que l'esquisse d'une représentation graphique. Ils doivent donc déterminer si le mobile est en mouvement ou non (en observant le comportement des variables physiques), s'il avance ou recule, et ce, constamment ou non, et ensuite s'attarder au fait qu'il se dirige dans un sens particulier (le fait qu'il avance veut dire qu'il s'éloigne vers l'avant de son point de départ). On comprend donc pourquoi cet outil permet de réellement vérifier la compréhension globale des élèves à propos des notions de cinématique.

Finalement, McDermott (dans Tiberghien, 1997) souligne que le test TUG-K est un « instrument, conçu pour évaluer la compréhension conceptuelle, qui s'est révélé efficace pour montrer aux responsables des programmes de physique que plusieurs étudiants, affichant de bons résultats à des examens quantitatifs, ont de sérieux problèmes au niveau conceptuel ». Ce test aurait d'ailleurs été publié dans des journaux divers, et serait un outil fort approprié pour obtenir des résultats à la question spécifique dont il est question dans ce projet d'étude. En effet, il permettrait d'évaluer les



performances des deux groupes d'élèves, ceux qui auront suivi le laboratoire avec une approche traditionnelle et ceux qui auront suivi le laboratoire avec une approche conceptuelle.

### 3.3. *Question de recherche*

Nous avons précisé l'importance, en enseignement des sciences, de développer différents types d'habiletés, que ce soit des habiletés de processus, des habiletés cognitives ou d'autres pour des situations d'enquête. Tous les types de laboratoires sont des situations expérimentales qui permettent l'intégration de plusieurs de ces habiletés.

Lorsqu'on aborde l'enseignement de la cinématique il apparaît primordial d'utiliser des outils mathématiques tels que des équations du mouvement et des graphiques qui représentent une situation. Les laboratoires, particulièrement en ExAO, semblent un moyen privilégié de mettre à profit cette représentation graphique pour permettre de comprendre une situation réaliste. Le laboratoire traditionnel, en lien direct avec une approche traditionnelle, vise la vérification de liens préétablis. Le laboratoire par « enquête guidée », quant à lui, tendrait plutôt à faire découvrir la relation entre des variables déjà rencontrées par les élèves. Quel que soit le type de laboratoire, un enseignement de la cinématique ne peut pas être étranger à la compréhension des graphiques puisqu'ils sont à la base de la représentation d'une situation et essentiels pour la communication des résultats.

Sachant qu'il existe un instrument qui mesure la compréhension des concepts en cinématique grâce aux graphiques, le TUG-K, on peut maintenant se poser la question de recherche suivante :

*Dans le cadre d'un cours de cinquième secondaire en physique mécanique, est-ce que le laboratoire par enquête guidée, comme complément d'enseignement, permet aux élèves de mieux comprendre des notions en cinématique par l'intermédiaire des graphiques, que le laboratoire traditionnel ?*

L'évaluation de la compréhension est faite grâce à un test, l'instrument de mesure TUG-K, ainsi qu'avec une entrevue passée ultérieurement au test.

Ce projet de recherche s'inscrit dans une série d'études qui portent sur des approches d'enseignement exploitant le laboratoire comme moyen de transmission des concepts mécaniques en physique. Comme la plupart d'entre elles ont été réalisées au collégial ou à l'université, ce projet apporte de nouvelles données recueillies au niveau secondaire.

## **4. Méthodologie**

Pour développer la méthodologie de ce projet de recherche, nous nous sommes inspirés d'une étude de grande envergure, réalisée en Israël par Hofstein et son équipe, auprès d'étudiants du secondaire en chimie (entre 15 et 17 ans). L'étude (Hofstein *et al*, 2005) montre que des étudiants qui font des laboratoires de type « enquête guidée (découverte) » ont plus de facilité à poser des questions en général, mais aussi à poser des questions de type enquête, que des étudiants qui font des laboratoires de type « traditionnel ». Ce n'est pas tant le thème d'étude en soi qui est intéressant, quoiqu'il soit en lien avec le sujet actuel d'étude, mais plutôt la démarche de collecte des données.

L'équipe de Hofstein a décidé de faire suivre les mêmes cours théoriques (les professeurs ne changeaient pas leur enseignement) à deux groupes d'élèves, le groupe contrôle et le groupe expérimental, en appliquant toutefois un type de laboratoire différent pour chacun. Les étudiants du groupe contrôle suivaient des laboratoires traditionnels alors que ceux du groupe expérimental suivaient des laboratoires par « enquête guidée ». Après une série de laboratoires, on a demandé aux membres du groupe contrôle ainsi qu'aux membres du groupe expérimental de poser des questions suite à l'expérimentation d'un laboratoire particulier. On a ensuite comparé les résultats obtenus, en ce qui concerne la formulation des questions.

Cette méthodologie leur a permis de comparer les résultats de deux groupes ayant suivi des types de laboratoire différents, ce qui est aussi fait dans le cadre de notre projet. En fait, nous comparons les résultats de deux groupes distincts, qui ont suivi des types de laboratoire différents (les mêmes que dans l'étude mentionnée), tout en tentant de ne modifier aucun autre paramètre dans l'enseignement. Il y a néanmoins quelques détails qui

devaient être pris en compte. D'une part, les matières sont différentes : la chimie était la matière concernée dans l'étude alors que c'est la physique dans le cadre de notre projet. Cet aspect n'est pas lourd de conséquences puisque les caractéristiques des laboratoires (traditionnel et par enquête guidée) sont les mêmes, que ce soit en chimie ou en physique. L'équipe de Hofstein a décrit minutieusement l'approche faite pour ces deux laboratoires, ce qui constitue une source d'information particulièrement riche. D'autre part, les chercheurs ont effectué des tests une fois seulement, à la fin. Dans le cadre de notre projet, les élèves ont passé un pré-test et un post-test afin de vérifier s'il y a amélioration suite à l'intervention. Finalement, la formulation de questions (élément évalué dans l'étude) ne rejoint pas l'esprit de notre projet. Le test TUG-K est utilisé pour faire le pré-test et le post-test puisqu'il permet de mieux déterminer la compréhension des notions de cinématique par l'intermédiaire des graphiques. Une douzaine d'entrevues ont été réalisées avec des étudiants du groupe contrôle et du groupe expérimental deux mois après le passage du post-test, permettant ainsi d'approfondir l'information recueillie par le test TUG-K.

#### ***4.1. Démarche d'ensemble et modes d'investigation***

Toutes les étapes du projet de recherche se sont faites au Collège Jean-Eudes à Montréal, dans deux groupes de physique de cinquième secondaire, entre mars et juin 2007. Tel que mentionné en introduction, les classes sont mixtes et les étudiants sont considérés comme forts, puisqu'ils doivent répondre à des critères stricts d'admissibilité pour ce cours. Comme il était impossible d'avoir accès à un échantillon standard selon les normes statistiques, le choix des deux groupes de 38 élèves a été fait selon des caractéristiques globales similaires : même professeur de physique (en l'occurrence moi-même), mêmes options (chimie et physique), et de même force au niveau des cours

de mathématiques (tous les élèves suivent le cours de mathématique 536). L'enseignement des contenus théoriques a été fait de la même façon pour les deux groupes, avec un mélange d'approches d'enseignement conceptuelle et conventionnelle. Les contenus de cours, avant de faire passer le pré-test, correspondaient aux thèmes de cinématique, soit les types de mouvement (mouvement rectiligne uniforme et mouvement rectiligne uniformément accéléré), le déplacement, la vitesse et l'accélération. Les élèves avaient donc déjà travaillé avec les équations de la cinématique et avec des graphiques exploitant les variables précédemment mentionnées avant de faire les laboratoires. Une fois la matière théorique complétée, les élèves des deux groupes ont passé le pré-test. Le groupe expérimental a ensuite fait un laboratoire de type « enquête guidée » et le groupe contrôle a fait le laboratoire de type « traditionnel ». Dès que le laboratoire a été complété ils ont passé le post-test. Enfin, une douzaine d'étudiants provenant du groupe contrôle et du groupe expérimental ont passé une entrevue afin d'éclaircir certaines informations recueillies grâce au test TUG-K. Il importe de noter que les parents des élèves, ainsi que les élèves eux-mêmes qui ont participé à l'étude, ont tous rempli et signé un consentement écrit. D'ailleurs, les renseignements fournis sont gardés confidentiels, et c'est pourquoi chaque participant s'est vu attribué un numéro associé à une liste des élèves et connu uniquement du chercheur principal. Les renseignements associés à chaque élève seront détruits selon les règlements sur l'éthique de la Faculté des sciences de l'éducation, soit sept ans après la fin du projet.

Nous présentons maintenant la méthode utilisée pour rédiger les laboratoires traditionnel et par enquête, l'outil diagnostic ainsi que le modèle d'entrevue individuelle choisis pour ce projet de recherche.

#### 4.1.1. Laboratoires élaborés pour le projet

Nous avons déjà discuté du choix des deux laboratoires, dans le cadre d'un projet de recherche en cinématique, à la section 3.2.3. Il est maintenant important de spécifier que tous deux ont été réalisés en ExAO puisque les recherches (voir la section 3.2.2) montrent que les laboratoires qui intègrent des éléments d'ExAO sont plus efficaces pour la compréhension des notions de cinématique et pour établir des liens entre les variables de vitesse et d'accélération, par l'intermédiaire des graphiques présentés simultanément avec l'expérience. Pour la conception des deux types de laboratoires, nous nous sommes basés sur les caractéristiques suivantes (*résumées des caractéristiques mentionnées dans la section 3.1.2, les laboratoires*) :

##### 1. *Laboratoire traditionnel :*

- Nature vérificatrice (pour s'assurer que les lois étudiées sont respectées en laboratoire).
- Relié à la matière théorique vue en classe au moment du laboratoire.
- Procédural : les étapes à suivre sont fournies par le professeur.
- La tâche à accomplir est fermée : l'étudiant (ou l'équipe) ne sort pas du cadre prescrit.
- Habiletés et aptitudes précises à développer :
  - Conduire chacune des étapes de l'expérimentation;
  - Observer les événements clés;
  - Noter les résultats;
  - Analyser les données dans le but de confirmer ou d'infirmer des relations théoriques.

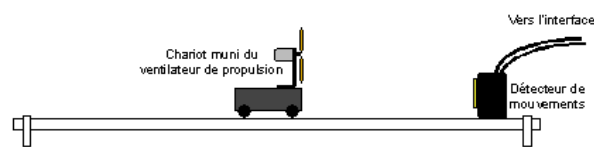
La figure 3 montre bien l'aspect procédural du laboratoire : l'élève suit une série d'étapes inscrites dans le cahier de laboratoire ExAO. Nous fournissons toutes les étapes pour le montage du matériel, pour la prise des données ainsi que chacune de celles qui permettent d'obtenir les valeurs servant à

l'analyse des résultats (pour plus de détails, voir les cahiers de laboratoire aux annexes 1-A et 1-B).

**FIGURE 3. Sections du laboratoire traditionnel indiquant les étapes à suivre et la prise des données pour l'expérience.**

## Interface et détecteur de mouvements

- Brancher les prises digitales du détecteur de mouvement dans les entrées correspondantes de l'interface : celle identifiée par une **bande jaune** dans l'entrée #1 et la seconde dans l'entrée #2.
- Installer le détecteur de mouvement à l'extrémité du rail et le pointer dans la direction du chariot. **S'assurer qu'il n'y ait aucun fil qui obstrue le passage du chariot.** Le rail devrait être plat (**aucune pente significative**) afin que le chariot reste immobile lorsqu'il est sur le rail.
- Poser le chariot à **environ 10 cm** du détecteur de mouvements. Tenir la ficelle et mettre le ventilateur en marche à la **vitesse basse**.
- **Attention : le chariot doit être orienté afin qu'il s'éloigne du capteur !!**

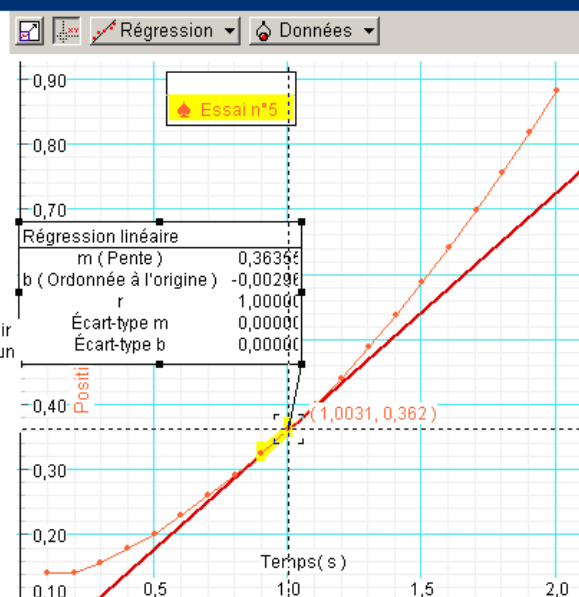


## Observations

- Lorsque vous êtes prêt(e), cliquez sur le bouton **Démarrer** et au même instant relâcher la ficelle : **l'enregistrement débutera immédiatement.** L'enregistrement des données cessera automatiquement **2 secondes après le début de la prise de données.**
- Assurez-vous que la courbe est uniforme, et si vous détectez des anomalies au centre de la courbe, faites une nouvelle mesure. Lorsque votre essai est "satisfaisant", allez dans **Données** et **désactivez les autres essais.**
- Cliquer sur le bouton **Régression** du graphique et choisir "**régression linéaire**". Toujours sur le graphique, ouvrir un rectangle en cliquant et en glissant le curseur afin de n'encadrer que **deux points** : celui à  **$t = 1\text{s}$**  (environ) et **celui le précédant** (zone devient jaune).
- Cliquer sur l'icône **Outil d'analyse** (bouton sur la barre grise du graphique avec un sigle XY) et positionner le curseur sur la courbe à  **$t = 1\text{s}$** .

**N.B. Assurez-vous que le curseur de positionnement est à la bonne place et que la régression linéaire correspond toujours aux deux points sélectionnés antérieurement. Ces deux points sont censés être colorés en jaune.**

**Placez la fenêtre de régression afin qu'elle n'obstrue pas la courbe de votre graphique.**





Dans les feuillets accompagnant le laboratoire traditionnel (voir les annexes 3 et 4), on guide les élèves afin que ses caractéristiques soient respectées. Par exemple, la dernière habileté à développer est la suivante : analyser les données dans le but de confirmer ou d’infirmer des relations théoriques. Ainsi, pour l’analyse des données des deux sections de ce type de laboratoire, nous utilisons les relations établies dans la conclusion de la première partie du laboratoire (feuilleton du mobile propulsé par un ventilateur, annexe 3) et nous les faisons vérifier dans la deuxième partie (feuilleton du plan incliné, annexe 4). Ainsi, une des relations établies dans la première partie est que la pente dans un graphique de la vitesse en fonction du temps et la valeur de la moyenne du graphique de l’accélération correspondent toutes deux à l’accélération. Une des questions de l’analyse de la deuxième partie demande de vérifier ces relations :

Comparer le résultat de la question précédente (*trouver l’accélération grâce aux équations du MRUA*) avec la valeur de la moyenne de l’accélération du graphique de l’accélération en fonction du temps, et avec la pente des données sélectionnées du graphique de la vitesse en fonction du temps. Inscrire les trois valeurs.

Les élèves devaient trouver ces deux relations dans la première partie :

À quoi correspond la valeur de la pente dans ce type de graphique (*vitesse en fonction du temps*)?

Valeur de la moyenne de l’accélération (*dans le tableau des résultats du graphique de l’accélération en fonction du temps*).

## **2. Laboratoire par enquête guidée :**

- Le professeur guide les apprenants vers un objectif désiré.
- Constitué de deux phases :
  - Pré-enquête : s’apparente au laboratoire « traditionnel » puisque les étudiants doivent suivre des instructions procédurales pas à pas.
  - Enquête : tâche ouverte (variera en fonction des équipes de travail) puisque les étudiants doivent formuler des hypothèses suite à un questionnement et tenter de les vérifier.

- Habiletés et aptitudes précises à développer :

Pour la pré-enquête :

- Conduire chacune des étapes de l'expérimentation;
- Observer les événements clés;
- Noter les résultats.

Pour l'enquête :

- Poser des questions et formuler des hypothèses sur les résultats obtenus antérieurement;
- Planifier une expérimentation qui tenterait de vérifier leurs hypothèses;
- Faire l'expérimentation planifiée en respectant les limites du contexte;
- Analyser les résultats et les présenter d'une manière scientifique.

Dans le cas d'un laboratoire par enquête, il y a deux phases, dont la première ressemble à un laboratoire traditionnel, c'est pourquoi la première partie du laboratoire par enquête est la même que celle du laboratoire traditionnel (voir les annexes 1-A et 2-A). Néanmoins, dans la deuxième phase, les étudiants ne sont plus dirigés constamment pour chaque étape. Ils doivent élaborer eux-mêmes leur propre protocole à partir des résultats obtenus dans la première partie. Le feuillet introduisant la deuxième phase (voir l'annexe 5) demande aux élèves, avant qu'ils ne procèdent à l'expérimentation, de réfléchir sur leurs résultats antérieurs et de planifier une expérience qui permettra de vérifier leur hypothèse :

1. Quels étaient les paramètres, dans la première partie du laboratoire, qui influençaient le mouvement du mobile ? *Fournir 3 paramètres différents.*
2. Connaissant le matériel à votre disposition pour faire un laboratoire assisté par ordinateur, comment pourriez-vous changer le montage pour que le mouvement du chariot propulsé par un ventilateur (ou le chariot de votre tiroir) soit différent ? *Fournir au moins 3 façons différentes.*

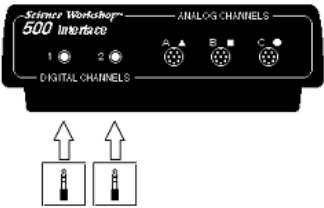
3. Dans la 2<sup>e</sup> partie du laboratoire, vous devrez faire un nouveau montage et en analyser le mouvement du mobile (*MRUA*), grâce au détecteur de mouvements.
  - Faites une description du montage que vous voulez faire.
  - Faites un schéma de la situation, avec un court protocole indiquant les principales étapes de réalisation du laboratoire.

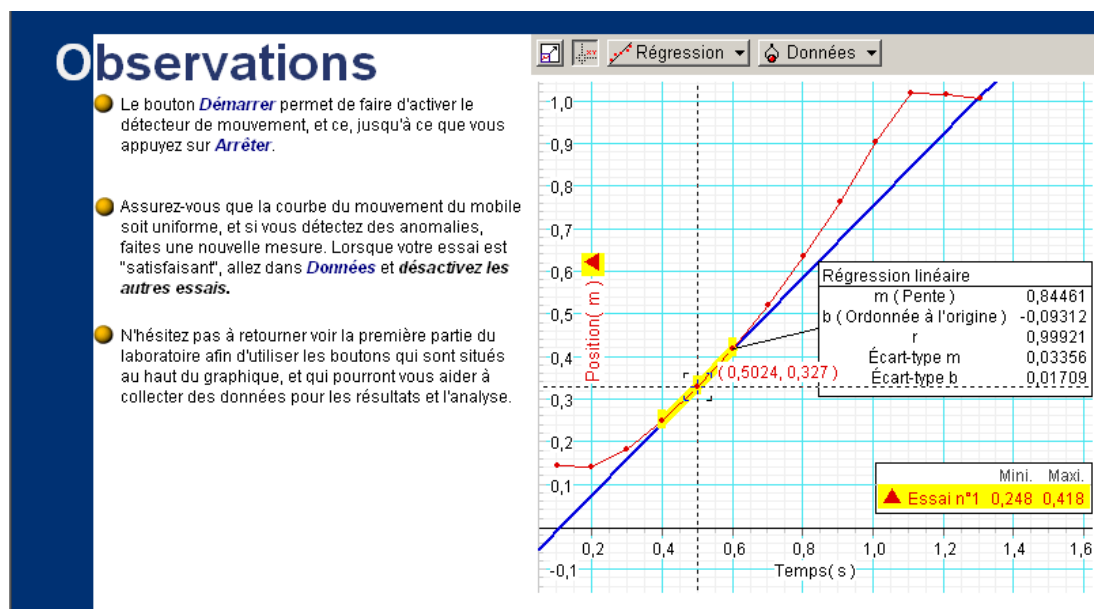
Une fois ces questions répondues et validées par l'enseignant ou la technicienne de laboratoire, les étudiants procèdent à l'expérimentation. Le cahier de laboratoire pour cette section n'est plus directif (voir la figure 4) et laisse les étudiants prendre eux-mêmes leurs résultats et choisir les outils qui leur permettront de répondre à l'analyse, en respectant les contraintes du matériel à leur disposition (pour plus de détails, voir l'annexe 2-A et 2-B).

**FIGURE 4. Sections du laboratoire par enquête indiquant le fonctionnement du matériel et la prise des données pour l'expérience.**

## Interface et détecteur de mouvements

- Brancher les prises digitales du détecteur de mouvement dans les entrées correspondantes de l'interface : celle identifiée par une **bande jaune** dans l'entrée #1 et la seconde dans l'entrée #2.
- Placer le détecteur de mouvements à l'extrémité du rail, ou selon votre protocole (*mettre l'interrupteur du détecteur à **onde étroite** pour plus de précision*). **Vérifier qu'il n'y ait aucun fil qui obstrue le passage du chariot sur le rail.**
- Il faut faire attention pour que **le chariot ne rentre pas en contact avec le détecteur de mouvement.**





Finalement, suite à l'expérimentation, les étudiants ont un autre feuillet à remplir (voir l'annexe 6) qui permet de faire l'analyse des résultats et de confirmer ou infirmer leur hypothèse :

Qu'arrive-t-il à la variable accélération lorsqu'un mobile est soumis à vos conditions de laboratoire ?

Les deux laboratoires ont été validés et corrigés par plusieurs intervenants. La technicienne de laboratoire du collège Jean-Eudes, a évalué la faisabilité du laboratoire en termes techniques : possibilité de réalisation avec le matériel disponible, temps global de laboratoire réaliste, éléments informatiques bien présentés (faciles d'accès pour les élèves), fonctionnement des cahiers d'activité dans le logiciel *DataStudio*. Au niveau du contenu des laboratoires, un professeur d'université en charge de ce projet et l'un de ses étudiants au doctorat en didactique de la physique se sont assurés que les éléments théoriques étaient bien présentés, sans failles logiques. Ils ont également vérifié que la forme cadrait bien avec les caractéristiques des deux types de laboratoires. Une enseignante en sciences du Collège, a également

regardé la forme du laboratoire enquête afin qu'il réponde bien aux normes des laboratoires de ce type. Celle-ci est conseillère pour le Ministère de l'éducation pour le programme de sciences, et elle a été formée à plusieurs reprises sur ce type de laboratoire, elle a donc une certaine expertise dans ce domaine. Elle a également insisté sur la clarté des termes utilisés afin que les élèves ne soient pas induits en erreur (par exemple, le terme facteur versus variable).

#### 4.1.2. *Outil diagnostic: test TUG-K*

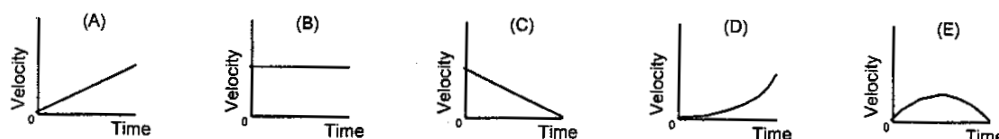
L'outil diagnostic qui nous a permis de collecter les données (niveau de compréhension des notions de cinématique à l'aide de graphiques) est le TUG-K (voir Annexe 7), un questionnaire à choix de réponses décrit dans le cadre conceptuel (section 3.2.4). Ce test nous a permis de connaître la force initiale des deux groupes et de comparer leurs degrés de compréhension pour chaque type de questions, suite au laboratoire (voir le tableau III : il y a sept types différents, chacune correspondant à un objectif particulier, avec en moyenne trois questions par type). Comme il a déjà été validé par le concepteur auprès de 524 étudiants du secondaire et du collégial, aux États-Unis, nous avons jugé que nous pouvions l'utiliser sans avoir à refaire une validation complète de l'instrument. Toutefois, il est important de noter que nous avons changé le type accordé à l'une des questions du test, soit la question 1. Au lieu de considérer que l'étudiant déterminait le changement de vitesse à partir d'un graphique de l'accélération en fonction du temps (type 4), nous croyions que l'étudiant devait plutôt déterminer le déplacement à partir d'un graphique de la vitesse en fonction du temps (type 3). D'ailleurs, dans cette question, le choix de réponses montre cinq graphiques de la vitesse en fonction du temps, et non des graphiques de l'accélération en fonction du temps. La version fournie dans l'article de *l'American Journal of physics* (Beichner, 1994) est différente de la version que

l'auteur nous a fournie en janvier 2007, d'où cette distinction. Il y a donc quatre questions associées au type 3 et seulement deux questions associées au type 4.

La figure 5 présente trois questions ayant des objectifs différents. Dans la question 1 (type 3), on fournit plusieurs graphiques de la vitesse en fonction du temps et l'élève doit savoir dans lequel des cas le mobile a fait le plus grand déplacement. Dans cette question, l'élève doit évaluer le déplacement dans un graphique de la vitesse en fonction du temps en trouvant l'aire sous la courbe, sans avoir recours à des valeurs numériques. La question 2 (type 2) demande à l'étudiant de déterminer l'accélération à partir d'un graphique de la vitesse en fonction du temps. Comme on demande l'intervalle de temps où l'accélération est négative, l'étudiant doit trouver la pente du graphique (ce qui correspond à l'accélération – la variation de vitesse en fonction du temps – dans cette situation) et remarquer le moment où justement cette pente est la plus accentuée, négativement. Finalement, à la question 3 (type 6) l'élève doit sélectionner une description textuelle à partir d'un graphique décrivant un mouvement quelconque. Il doit d'abord savoir si l'objet est en mouvement et observer l'information fournie par ce type de graphique (et incidemment identifier le graphique). À cause des différents énoncés, il doit également savoir si le mouvement est constant (vitesse constante) ou accéléré. Ainsi il doit reconnaître trois variables : le déplacement, la vitesse et l'accélération. Le test TUG-K permet donc d'évaluer une compréhension globale des notions de cinématique, que ce soit en passant par les graphiques ou encore par l'intermédiaire d'énoncés qui forcent l'étudiant à reconnaître, même dans un texte régulier, l'impact des variables physiques.

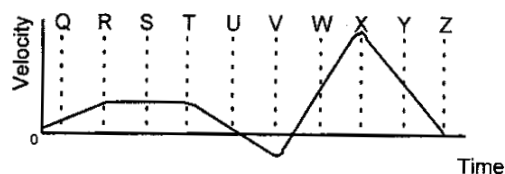
**FIGURE 5. Exemples de questions du test TUG-K ayant, en ordre, les objectifs 3, 2 et 6.**

1. Des graphiques de la vitesse en fonction du temps pour cinq objets sont présentés ci-dessous. Tous les axes ont les mêmes graduations. Quel objet a eu la plus grande variation de position durant l'intervalle de temps ?



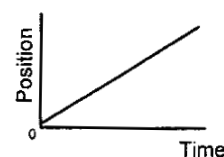
2. Quand l'accélération est-elle la plus négative ?

- (A) R à T
- (B) T à V
- (C) V
- (D) X
- (E) X à Z



3. À droite, il y a un graphique du mouvement d'un objet. Quelle phrase est la meilleure interprétation ?

- (A) L'objet se déplace avec une accélération constante, non-nulle, .
- (B) L'objet ne bouge pas.
- (C) L'objet se déplace avec une vitesse qui augmente uniformément.
- (D) L'objet se déplace avec une vitesse constante.
- (E) L'objet se déplace avec une accélération qui augmente uniformément.



#### 4.1.3. Entrevues individuelles

Vers la fin de l'année scolaire (début juin), soit deux mois après avoir passé le post-test, une douzaine d'élèves ont été rencontrés afin de passer un questionnaire d'entrevue individuelle (voir l'annexe 8). Nous avons choisi de faire ces entrevues afin d'obtenir plus d'information au niveau de la compréhension des élèves, par rapport à leurs résultats obtenus aux tests. Les participants, provenant des deux groupes, ont été choisis en fonction de leurs résultats obtenus au post-test : quatre (deux de chaque groupe) ayant eu des résultats faibles (environ 50 %), quatre (deux de chaque groupe) ayant eu des résultats moyens (entre 70 et 80 %), et trois (deux du groupe expérimental et

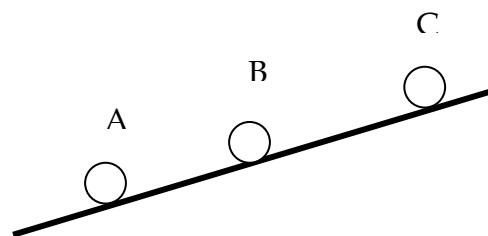
un du groupe contrôle – le deuxième n’ayant pu se présenter à l’entrevue) ayant eu des résultats forts (supérieurs à 90 %). Les élèves n’étaient pas au courant de la manière de procéder pour le choix des candidats car ils ne connaissaient d’ailleurs pas leurs résultats. Notons que nous avons choisi de faire faire des entrevues à des élèves de force variée pour des fins exploratoires. Nous nous sommes permis de regarder toutes les petites différences entre les groupes contrôle ou expérimental en espérant relever des informations qui pourraient s’avérer potentiellement intéressantes lors de l’analyse des résultats. Ce questionnaire regroupait huit questions de compréhension conceptuelle majoritairement fournies par mon directeur de maîtrise. Celui-ci y a recours pour évaluer la compréhension conceptuelle de la cinématique dans le cadre de son cours de didactique (traitant de notions de physique) auprès d’étudiants au baccalauréat en enseignement des sciences de l’Université de Montréal. Dans toutes les questions il y avait d’abord absence de valeurs numériques, mais pour plusieurs d’entre elles, il y avait également une volonté de placer l’élève face à une situation réelle. Notons que la moitié des questions intégraient des graphiques dans la question ou dans la réponse.

Les deux questions suivantes (correspondant aux questions 4 et 7) donnent un aperçu du questionnaire d’entrevue, entre autre par leur volonté d’accrocher la question à une situation de la vie de tous les jours.

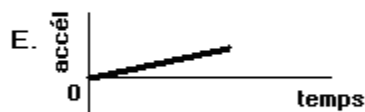
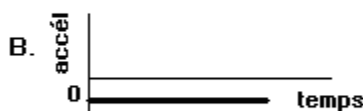
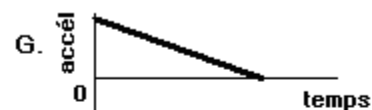
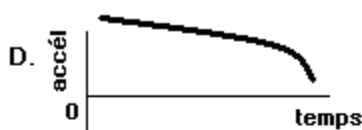
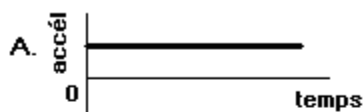


En donnant un bref coup à une balle qui se trouve à la base d'un plan incliné, on la fait remonter la rampe. On considère que la friction de la rampe et la force de résistance de l'air sont négligeables. Considérez trois points : A, juste après que la balle commence la remontée; B, à mi-chemin sur le plan; et C, au sommet de la remontée.

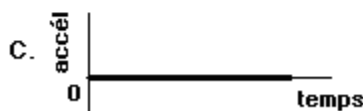
- À quel point, A, B ou C, l'accélération de la balle est plus grande?
- À quel point, A, B ou C, la vitesse de la balle est plus grande?
- À quel point, A, B ou C, la force sur la balle est plus grande?
- La balle prend moins de temps pour parcourir la distance : entre A et B ou entre B et C?



Les cinq sous-questions suivantes concernent une auto qui se déplace vers la droite ou la gauche sur une surface horizontale en ligne droite. La direction positive est vers la **droite**. Les questions décrivent différents mouvements de l'auto. Choisissez la lettre, A à H, du graphique d'accélération contre temps, correspondant le mieux au mouvement décrit.



H. Aucun de ces graphiques



- L'auto se déplace vers la droite en accélérant à un taux constant :
- L'auto se déplace vers la droite en ralentissant à un taux constant :
- L'auto se déplace vers la gauche à vitesse constante :
- L'auto se déplace vers la gauche en accélérant à un taux constant :
- L'auto se déplace vers la droite à vitesse constante :

À la première question, nous tentons de savoir si l'élève a d'abord compris que l'accélération était constante (la vitesse décroissait au même taux par rapport au temps), ce qui implique qu'à la position la plus élevée atteinte par la balle la vitesse est devenue nulle. Comme les entrevues ont été faites en fin d'année, les étudiants ont vu les concepts de dynamique, ce qui implique qu'ils sont censés savoir que la force qui attire la balle vers le bas du plan incliné est constante (d'où une accélération constante, contraire au sens de la vitesse) et qu'elle vient de la composante parallèle au plan de la force gravitationnelle agissant sur la balle. La dernière question exige que l'étudiant sache que plus le temps passe, moins la balle va vite, et donc qu'elle parcourt une plus petite distance à chaque intervalle de temps (il faut donc plus de temps pour parcourir la deuxième partie du mouvement). Cette question permet d'évaluer la compréhension de toutes les variables de la cinématique (sans avoir recours au graphique), en faisant également un retour sur la dynamique.

Pour la deuxième question, plusieurs habiletés associées à la cinématique peuvent encore être évaluées. Premièrement, l'élève doit être capable de retrouver l'information des variables physiques dans un texte écrit. Il doit être capable d'évaluer ce que serait le graphique de l'accélération en fonction du temps suite à la lecture de ce texte. Pour ce faire, il doit retrouver le sens de l'accélération (dans le même sens ou contraire à la vitesse). Si l'auto a une accélération dans le même sens que son mouvement, et que le mouvement est vers l'avant, la variable sera positive, et vice versa. Si l'accélération est de signe contraire au mouvement, il y a un ralentissement. Le graphique ne peut être qu'une ligne horizontale ( $y = \text{constante}$ ) car l'accélération est toujours constante. Finalement, lorsque la vitesse est constante, ça implique que l'accélération est nulle.

## 4.2. *Déroulement de l'intervention et collecte des données*

La durée de l'intervention, tests et laboratoire, a été faite de la façon suivante : deux portions de périodes de cours (environ 30 minutes) utilisées pour le passage du pré-test et du post-test, et un peu plus de trois périodes de 50 minutes, entre les deux tests, où les élèves réalisaient chacune des étapes des laboratoires. Aucun contenu de cours, autre que les laboratoires en soi, n'a été abordé entre les deux tests. Le laboratoire enquête nécessitait près de vingt minutes de plus que celui traditionnel parce que les élèves avaient en réalité une étape de plus à faire, la conception de la seconde partie du laboratoire. Deux mois après le passage du post-test, onze élèves ont été rencontrés en entrevue individuelle. Voici donc le déroulement en classe pour les laboratoires, ainsi que pour les entrevues individuelles.

### 4.2.1. *Déroulement des laboratoires*

Les laboratoires étaient assistés par ordinateur (ExAO) : des senseurs captaient l'information et la traduisaient directement sur l'écran d'ordinateur, en temps réel et sous forme graphique. Le recours à ce type de matériel (interface et senseurs de marque *PASCO Scientific*) pour le laboratoire était idéal dans le cadre de ce projet puisque le test TUG-K n'évalue pas la capacité des étudiants à construire des graphiques, et cette étape n'était pas réalisée dans ce projet par les élèves étant donné que l'ordinateur traçait les graphiques directement.

Les étudiants travaillaient en dyade à leur propre poste de travail. Les directives et les procédures pour les laboratoires, lorsqu'elles étaient fournies, étaient indiquées dans le cahier d'activité monté sur le logiciel *DataStudio*, à l'ordinateur. Les cahiers d'activité correspondant aux deux types de laboratoire sont présentés en annexe (Traditionnel : annexes 1-A et

1-B; Enquête guidée : annexes 2-A et 2-B). Les étudiants recevaient également des feuillets complémentaires pour faire l'analyse des deux parties du laboratoire traditionnel (annexes 3 et 4). Ceux qui faisaient le laboratoire par enquête recevaient trois feuillets : l'un pour l'analyse de la première partie (annexe 3), un autre pour la conception de la deuxième partie (annexe 5), et un dernier pour l'analyse de la deuxième partie (annexe 6). Ces documents étaient fournis au fur et à mesure que les équipes progressaient dans le laboratoire. Celles-ci recevaient le feuillet d'analyse correspondant à la première partie une fois que les manipulations étaient faites pour la première partie. Cette analyse, ou l'étape que l'équipe achevait, était vérifiée par l'enseignant ou la technicienne (formée pour l'activité) avant que les équipiers ne puissent passer à la seconde partie, et ainsi de suite. Tout au long des laboratoires, la technicienne et l'enseignant (moi-même) circulaient dans les rangées pour guider les élèves par questionnement et les aider lorsque des problèmes techniques survenaient, ou que les coéquipiers étaient bloqués dans la démarche.

Il faut spécifier que, pour le laboratoire enquête, comme les équipes n'avaient pas nécessairement la même expérimentation pour la deuxième partie du laboratoire, chaque équipe devait faire valider son expérience avant de l'entamer. Par exemple, certaines équipes ont décidé de modifier l'angle du banc de mécanique pour déterminer l'impact de cet angle sur le mouvement du mobile. D'autres ont tout simplement changé la force de propulsion d'air du moteur, ou changé la masse du chariot. Peu importe leur expérimentation, nous avons vérifié que leur mobile subissait une accélération constante pendant un certain laps de temps. Pour la portion d'analyse de cette seconde partie, la technicienne ou l'enseignant leur demandaient de cibler, dans leurs résultats, une section où leur mobile était

en accélération constante. C'est pourquoi, dans le feuillet d'analyse (annexe 6), il y a un espace vide à certains endroits dans les tableaux des résultats. Les équipes ne connaissaient ce temps (pour répondre à certaines questions d'analyse) que lorsque la partie expérimentale de leur laboratoire était vérifiée.

#### 4.2.2. *Déroulement des tests*

Lors du passage du pré-test et du post-test, les étudiants répondaient individuellement à un questionnaire (le test TUG-K), et ils transcrivaient leurs réponses sur une feuille à lecteur optique. Il y avait cinq choix de réponses pour chaque question. Il leur a fallu une période d'environ 30 minutes à chaque fois pour qu'ils aient suffisamment de temps pour y répondre. Les étudiants n'ont pas su d'avance qu'ils répondraient une seconde fois au même test. Les absents lors de chacun des tests ne les ont pas repris pour ne pas que les discussions entre les étudiants biaisent leurs résultats. Nous n'avons compilé que les réponses des étudiants présents.

#### 4.2.3. *Déroulement des entrevues individuelles*

Les étudiants étaient rencontrés dans de petites classes fermées, à divers moments de la journée : avant les cours, pendant la période de dîner ou après les cours. Ces entrevues se sont échelonnées sur un peu moins d'une semaine, et elles duraient en moyenne une vingtaine de minutes. Chaque étudiant devait répondre à huit questions avec plusieurs sous-questions. J'étais la personne qui posait les questions et qui prenait en note les réponses des étudiants, ainsi que tous les commentaires énoncés qui étaient pertinents à la compréhension des notions traitées. Il y avait différents types de question : définition de termes de base en cinématique, description de

mouvements à partir de graphiques, recherche d'informations sur divers types de graphiques ou de situations, et traçage d'esquisses ou choix d'un graphique à partir d'une situation donnée.

### ***4.3. Contrôle des biais***

Il est possible, malgré les précautions prises (même enseignant, même enseignement préliminaire, choix des mêmes types de groupe, même matériel ExAO), que certains biais se soient immiscés dans ce projet de recherche. Nous croyons avoir été particulièrement méthodiques au niveau de l'enseignement puisque chaque groupe a reçu la même formation préliminaire, mais nous ne pouvions contrôler les questions des élèves, et de ce fait, il se peut qu'il y ait eu de légères différences entre les cours des deux groupes. Il se peut aussi que les groupes n'aient pas été vraiment comparables : élèves plus forts mal répartis dans les groupes. Il y a peut-être eu une certaine forme de « maturité » des sujets : motivation à la baisse des étudiants dans la seconde moitié de l'année, surtout pour ceux qui ne se dirigent pas en sciences. Cette maturité aurait pu avoir des incidences au niveau des résultats du post-test, qui se faisait après que les étudiants aient reçu leur acceptation pour leur profil collégial. L'impact aurait pu être important si ceux qui ont eu un relâchement étaient, par hasard, dans le même groupe. Finalement, le pré-test a peut-être eu une influence sur le post-test. Comme c'était la même version qu'ils repassaient la deuxième fois, il se peut qu'ils aient été mieux préparés au type de questionnement lors du post-test, et ce, même si la correction n'a pas été faite entre la passation des deux. Il faut mentionner que quelques étudiants des groupes de base ont été éliminés du projet puisqu'ils ont manqué trop de cours pendant la séquence des laboratoires ou lors du passage du pré-test ou du post-test.

## **5. Résultats**

Pour la présentation de cette section, nous avons choisi de regrouper les résultats par type de questions. Cette décision découle du fait que, d'une part, une analyse globale des questions n'auraient pas été pertinente puisque les groupes (contrôle et expérimental) n'étaient pas nécessairement de la même force, et d'autre part parce que la construction des questions a été basée sur certains éléments de contenu bien spécifiques (voir le tableau III). Le créateur du test TUG-K a ciblé sept objectifs que l'étudiant doit atteindre à partir de contenus théoriques présentés dans la question. Ceci implique que chacune des questions se rapporte à un type particulier (par exemple, le type de question #1 est de déterminer la vitesse à partir d'un graphique de la position en fonction du temps). Il y a donc trois questions par type, sauf pour le type 3 qui en compte quatre, et le type 4 qui en compte deux, tel qu'expliqué antérieurement dans la section 4.1.2.

## ***5.1. Résultats au test TUG-K***

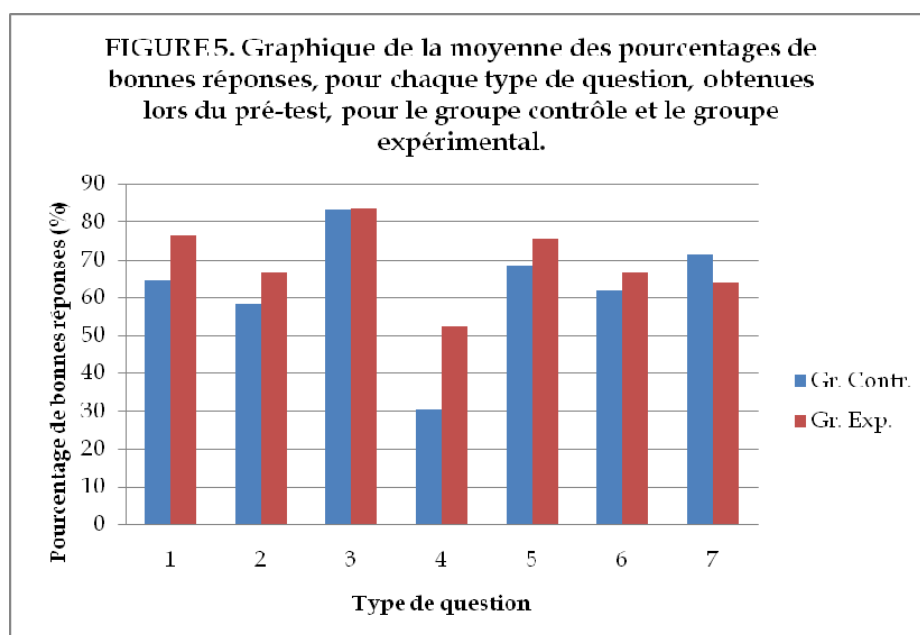
Nos résultats proviennent de quatre groupes d'analyse distincts : le groupe expérimental et le groupe contrôle, avant qu'ils n'aient fait leur laboratoire, et ces deux mêmes groupes, une fois qu'ils ont terminé leur laboratoire. Donc, un plan d'analyse factoriel ( $2 \times 2$ ) dont un facteur à mesure répétée.

### *5.1.1. Résultats au pré-test*

Le tableau IV indique les résultats exhaustifs obtenus par les étudiants de chaque groupe (expérimental et contrôle), avant qu'ils n'aient fait leur laboratoire. À la lecture des résultats, nous pouvons d'emblée remarquer que le groupe expérimental était plus fort que le groupe contrôle. En effet, ils ont obtenus des résultats plus élevés (selon leur moyenne pour chaque type de question), sauf au dernier type (questions évaluant la capacité des élèves à



sélectionner le graphique correspondant à une description textuelle de mouvement). On peut également noter que les élèves de chaque groupe ont eu de la facilité avec les questions du 3<sup>e</sup> type (déterminer le déplacement grâce à un graphique de la vitesse en fonction du temps), mais aussi de la difficulté avec le 4<sup>e</sup> type de question (déterminer la variation de vitesse grâce à un graphique de l'accélération en fonction du temps), tout particulièrement le groupe contrôle. Finalement, on peut considérer que le 4<sup>e</sup> type de question est celui où il y a une différence plus marquée entre les résultats des deux groupes (contrôle plus faible qu'expérimental), et c'est d'ailleurs celui pour lequel il n'y avait que deux questions au lieu de trois.



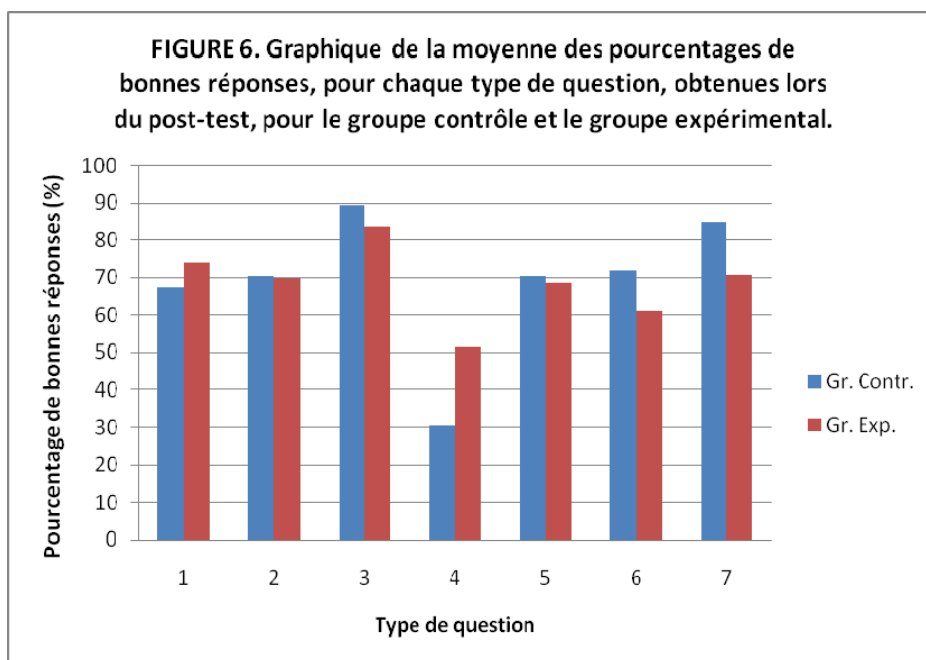
La figure 3 représente par un histogramme les résultats de la moyenne des pourcentages pour chaque type de question, pour les deux groupes.

**Tableau IV.** Résultats lors du pré-test, en % de bonnes réponses, pour le groupe contrôle et le groupe expérimental, pour toutes les questions (celles-ci étant regroupées en type).

<i>Type de questions</i>	<i>Groupe C :contrôle E :expérimental</i>	<i># Quest</i>	<i>Rés (%)</i>	<i># Quest</i>	<i>Rés (%)</i>	<i># Quest</i>	<i>Rés (%)</i>	<i># Quest</i>	<i>Rés (%)</i>	<i>Moyenne (%)</i>
1	C	5	86	13	50	17	58	-		64,7
	E		97		65		68			76,7
2	C	2	75	6	53	7	47	-		58,3
	E		78		60		62			66,7
3	C	1	69	4	75	18	92	20	97	83,3
	E		89		65		84		96	83,5
4	C	10	44	16	17	-		-		30,5
	E		62		43					52,5
5	C	11	64	14	78	15	64	-		68,7
	E		78		87		62			75,7
6	C	3	81	8	86	21	19	-		62,0
	E		84		89		27			66,7
7	C	9	61	12	86	19	67	-		71,3
	E		38		97		57			64,0

### 5.1.2. Résultats au post-test

Suite au laboratoire, les deux groupes ont cette fois des résultats plus semblables, que lors du pré-test (voir le tableau V). Pour deux types (le 2<sup>e</sup> et le 5<sup>e</sup>) les résultats sont pratiquement identiques, pour les 1<sup>er</sup> et 4<sup>e</sup> types le groupe expérimental conserve son avance, alors que pour les trois autres, c'est le groupe contrôle qui obtient de meilleurs résultats. On peut constater que le 4<sup>e</sup> type reste toujours difficile pour les élèves des deux groupes, tout comme le 3<sup>e</sup> type est encore une fois bien réussi. La figure 6 illustre l'histogramme des moyennes des résultats pour chaque type de question lors du post-test, pour les deux groupes.



*Tableau V.* Résultats lors du post-test, en % de bonnes réponses, pour le groupe contrôle et le groupe expérimental, pour toutes les questions (celles-ci étant regroupées en type).

<i>Type de questions</i>	<i>Groupe C : contrôle E : expérimental</i>	<i># Quest</i>	<i>Rés (%)</i>	<i># Quest</i>	<i>Rés (%)</i>	<i># Quest</i>	<i>Rés (%)</i>	<i># Quest</i>	<i>Rés (%)</i>	<i>Moyenne (%)</i>
1	C	5	84	13	63	17	55	-		67,3
	E		91		60		71			74,0
2	C	2	87	6	63	7	61	-		70,3
	E		83		63		63			69,7
3	C	1	79	4	90	18	97	20	92	89,5
	E		86		63		94		91	83,5
4	C	10	40	16	21	-		-		30,5
	E		57		46					51,5
5	C	11	74	14	74	15	63	-		70,3
	E		77		69		60			68,7
6	C	3	90	8	92	21	34	-		72,0
	E		80		80		23			61,0
7	C	9	83	12	95	19	76	-		84,7
	E		49		97		66			70,7

### 5.1.3 Analyse des résultats – Analyse de la variance

Pour approfondir l'information recueillie par le pré-test et le post-test, nous avons choisi d'effectuer un test paramétrique d'analyse de la variance (ANOVA) sur nos résultats. Nous avons choisi ce type de test, versus des tests non paramétriques qui seraient théoriquement préférables et plus conservateurs, parce qu'il permet d'agir de façon exploratoire. Si le test ANOVA est non significatif, alors les tests non paramétriques le seront fort probablement aussi. De plus, il n'y a pas de test non paramétrique, à notre connaissance, qui permettrait de traiter les données tel que nous l'avons fait, avec un plan  $2 \times 2$  dont un facteur répété.

Nous avons effectué nos tests sur les sept types de questions. Les tableaux VI et VII présentent les résultats obtenus au test ANOVA pour tous les types de questions. Dans les tableaux, le *Traitement* correspond au laboratoire choisi : de type traditionnel ou par enquête. *Moment* correspond au temps de passage du test, alors que *Moment x Traitement* correspond à une interaction entre les deux. Nous considérons que le résultat est significatif lorsque **p** est inférieure à **0,05**.

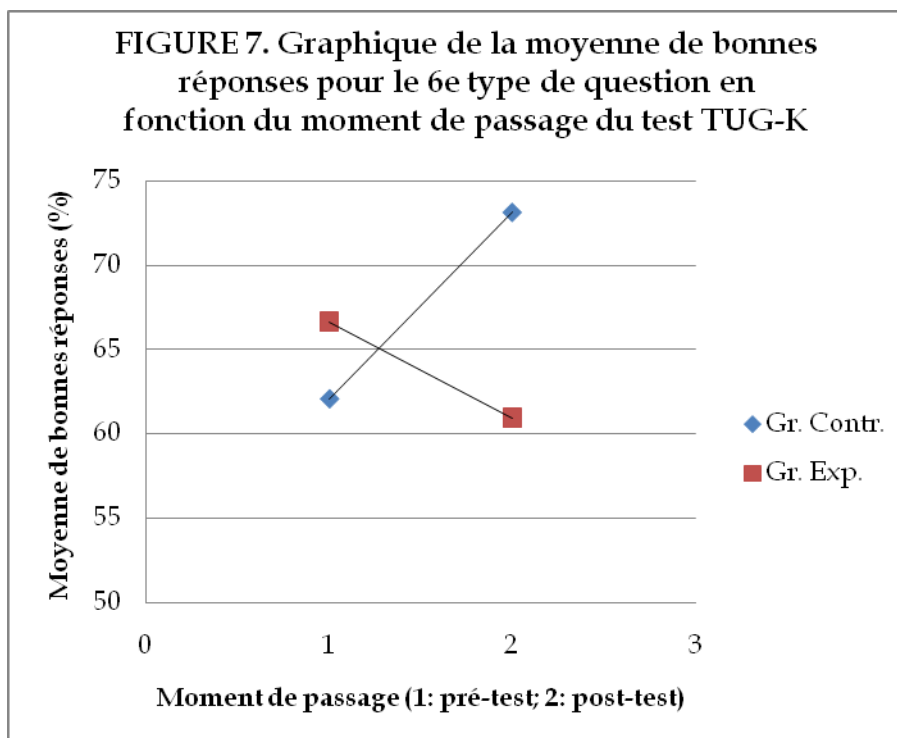
<b>Tableau VI. ANOVAS (en fonction du traitement, du moment, ou de l'interaction entre les deux) pour les types de question 1, 3, 5 et 7.</b>					
<b>Type de question</b>	<b>Source</b>	<b>Degrés de liberté (dl)</b>	<b>Carré de la moyenne (MS)</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
1-Déterminer la vitesse à partir d'un graphique de la position en fonction du temps	Traitement	1	94,136	2,427	0,124
	Moment	1	0,206	0,015	0,904
	Moment x Traitement	1	12,375	0,874	0,353
	Erreur	69	38,788		
	Erreur (Moment)	69	14,165		
3-Déterminer le déplacement à partir d'un graphique de la vitesse en fonction du temps	Traitement	1	17,156	0,500	0,482
	Moment	1	20,092	1,704	0,196
	Moment x Traitement	1	11,979	1,016	0,317
	Erreur	69	34,289		
	Erreur (Moment)	69	11,790		
5-Sélectionner un autre graphique correspondant à partir d'un graphique de cinématique	Traitement	1	4,588	0,121	0,729
	Moment	1	4,348	0,259	0,612
	Moment x Traitement	1	25,644	1,528	0,221
	Erreur	69	37,873		
	Erreur (Moment)	69	16,787		
7- Sélectionner le graphique correspondant à partir d'une description textuelle d'un mouvement	Traitement	1	35,324	1,016	0,317
	Moment	1	25,644	1,359	0,248
	Moment x Traitement	1	4,348	0,230	0,633
	Erreur	69	34,768		
	Erreur (Moment)	69	18,874		

Les résultats présentés au tableau VI montrent qu'il n'y a aucun lien significatif à faire entre les diverses variables suite au passage du laboratoire pour les types de question 1, 3, 5 et 7.

<b>Tableau VII. ANOVAS (en fonction du traitement, du moment, ou de l'interaction entre les deux) pour les types de question 2, 4 et 6.</b>					
<b>Type de question</b>	<b>Source</b>	<b>Degrés de liberté (dl)</b>	<b>Carré de la moyenne (MS)</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
2-Déterminer l'accélération à partir d'un graphique de la vitesse en fonction du temps	Traitement	1	9,043	,157	,694
	Moment	1	80,876	5,159	,026
	Moment x Traitement	1	24,088	1,536	,219
	Erreur	69	57,767		
	Erreur (Moment)	69	15,678		
4-Déterminer la variation de vitesse à partir d'un graphique de l'accélération en fonction du temps	Traitement	1	254,200	9,967	,002
	Moment	1	1,043	,100	,752
	Moment x Traitement	1	1,043	,100	,752
	Erreur	69	25,504		
	Erreur (Moment)	69	10,405		
6- Sélectionner une description textuelle à partir d'un graphique de cinématique	Traitement	1	16,458	,454	,503
	Moment	1	8,373	,824	,367
	Moment x Traitement	1	81,388	8,005	,006
	Erreur	69	36,224		
	Erreur (Moment)	69	10,166		

Le tableau VII montre pour sa part qu'il y a des liens à tirer entre les variables pour les trois autres types de questions. D'abord, lorsque l'élève doit déterminer l'accélération à partir d'un graphique de la vitesse en fonction du temps (type 2), on remarque que les deux groupes se sont améliorés significativement suite au passage du laboratoire. Pour le type 4, où l'élève doit déterminer la variation de vitesse à partir d'un graphique de l'accélération en fonction du temps, on peut constater que les deux groupes ont maintenu leurs résultats, et que le groupe expérimental était plus fort que le groupe contrôle, avant et après le laboratoire. Finalement, lorsque l'élève devait sélectionner une description textuelle à partir d'un graphique de cinématique, on remarque qu'il y a eu une interaction entre les deux variables.

La figure 7 ci-dessous montre qu'il y a eu une amélioration significative de la moyenne des résultats pour ce type de question entre le pré-test et le post-test pour le groupe contrôle, alors que le groupe expérimental a eu, pour sa part, une baisse significative de la moyenne de ses résultats.



#### 5.1.4 Discussion

Les résultats obtenus suite au passage du pré-test et du post-test ne permettent pas, à première vue, de conclure que le type de laboratoire ait eu une influence directe, pour les élèves des deux groupes, sur la compréhension des notions de cinématique par l'intermédiaire des graphiques. En fait, seul un type de question (le sixième) a indiqué qu'il y avait une différence significative entre les deux laboratoires, ce qui n'est pas suffisant pour conclure quoi que ce soit. D'ailleurs, le sixième type de questions va plutôt à l'encontre de nos prédictions puisqu'il indique que les élèves ayant suivi le laboratoire par enquête ont eu une baisse significative



de leurs résultats suite au laboratoire, alors que ceux ayant suivi un laboratoire traditionnel ont eu des résultats significativement meilleurs. Ces résultats nous ont semblé étonnants car nous ne comprenons pas pourquoi ce type de question (choisir une description textuelle à partir d'un graphique de cinématique) a été mieux réussi par les élèves ayant suivi un laboratoire traditionnel. Cet élément serait certainement intéressant à approfondir dans le cadre d'une recherche ultérieure.

Nous avons également remarqué que les résultats obtenus dans le test pour les types de questions 6 et 7 sont contradictoires à ce que nous avons lu dans la littérature sur le sujet. En effet, une étude de Brasell et Budd Rowe (1993) mentionnait que les étudiants sont censés avoir plus de difficultés à passer d'une description textuelle vers un graphique (type 7) que le contraire (type 6 : passer d'un graphique vers une description textuelle). Pourtant, même s'il n'y a pas une différence très significative, nous obtenons pour les élèves des deux groupes (lors du post-test), des résultats plus élevés pour les questions de type 7 que celles de type 6. Nous croyons que le fait que les étudiants soient baignés pendant deux phases complètes de laboratoires (deux périodes complètes de cours) peut expliquer qu'ils ne ressentent plus de difficultés à extraire l'information d'un texte et à la convertir en variable physique. D'ailleurs les auteurs de l'étude mentionnaient que cette difficulté était plus apparente lorsque les étudiants en étaient à leurs débuts dans l'exploration des graphiques de cinématique.

Le fait qu'il n'y ait pas de distinction réelle suite au test peut être explicable par un facteur important : la force des élèves au test TUG-K. Les tests paramétriques ont une certaine sensibilité pour déterminer qu'il y ait ou non une signification dans la variation des résultats. Si les résultats des élèves au

pré-test sont très forts, il devient difficile d'en voir la variation (lors d'un post-test), et donc d'en conclure à une différence significative. L'ANOVA peut ne pas avoir été efficace. Dans le cadre de ce projet, les élèves ont eu une réelle facilité lors du pré-test puisqu'ils ont obtenu, en moyenne, une note supérieure de 29,6 % aux questions du test par rapport aux élèves américains dont les résultats ont été publiés dans l'article de Beichner (1994). En fait, les étudiants pris pour notre projet (la moyenne des deux groupes) ont eu de meilleurs résultats au test pour vingt des vingt et une questions (voir le tableau VIII). Il est même arrivé que la moyenne d'un groupe pour une question soit de 97 %, ou encore que la moyenne pour un type de question soit de 84 %. Dans de tels cas, il est difficile de noter une augmentation qui soit significative face à un test paramétrique. Nous pouvons ajouter que, le groupe expérimental (avec une moyenne globale de 69 % au pré-test) étant déjà plus fort que le groupe contrôle (avec une moyenne de 63 %), il était plus difficile pour le groupe expérimental, par rapport au groupe contrôle, de s'améliorer lors du post-test, une telle moyenne étant déjà excellente !

Finalement, nous ne pouvons passer sous silence le fait que les deux groupes d'étudiants avaient à réaliser des laboratoires relativement élaborés, incluant des éléments d'ExAO. La richesse de ces laboratoires peut contribuer à expliquer le peu de différences entre les résultats des deux groupes, en ce qui a trait à l'interprétation des graphiques, notamment.

**Tableau VIII.** Comparaison entre les résultats obtenus par Beichner (1994) et ceux des groupes contrôle et expérimental de cette étude lors du pré-test, pour toutes les questions du test TUG-K.

# question	Type de questions	Résultats Beichner (%)	Résultats Groupe contrôle (%)	Résultats Groupe expérimental (%)
1	3	16	69	89
2	2	63	75	78
3	6	62	81	84
4	3	28	75	65
5	1	73	86	97
6	2	25	53	60
7	2	31	47	62
8	6	37	86	89
9	7	24	61	38
10	4	30	44	62
11	5	36	64	78
12	7	67	86	97
13	1	61	50	65
14	5	48	78	87
15	5	29	64	62
16	4	22	17	43
17	1	21	58	68
18	3	46	92	84
19	7	37	67	57
20	3	72	97	96
21	6	18	19	27

## 5.2. *Résultats de l'entrevue*

Les résultats au test TUG-K n'étant pas réellement concluants, il devient intéressant de se tourner vers les entrevues individuelles. Comme aucun test n'est porté sur les résultats de celles-ci, et comme les étudiants ont été choisis en fonction de leur force aux résultats des tests (forts, moyens et faibles), nous avons d'abord choisi de présenter les résultats, pour tous les participants des deux groupes (11 étudiants), par ordre de question. Ensuite, nous avons regroupé les résultats des étudiants par compréhension des concepts de vitesse et d'accélération. Et finalement, nous avons décidé de présenter les résultats par type d'habileté travaillée : construction d'un graphique et choix d'un graphique approprié en fonction d'un énoncé textuel.

### 5.2.1. *Résultats primaires par question*

#### **Première question**

On demandait d'abord aux étudiants de définir, dans leurs propres mots, trois termes de base en cinématique : le déplacement, la vitesse et l'accélération. Dans le groupe contrôle, les élèves ont eu de la difficulté particulièrement avec la notion de déplacement. Certains ont été flous et peu précis, ignorant le fait que c'était le chemin le plus court entre deux points : « mouvement d'un objet ou corps dans l'espace », « changement de lieu », ou encore « mouvement à une vitesse constante ». Un autre, un élève faible, est sorti du thème de la cinématique et a confondu ce terme avec l'accélération, telle que rencontrée en dynamique : « une force appliquée sur un objet produit un déplacement ». En ce qui concerne la vitesse, on pouvait reconnaître l'idée d'une variation de position en fonction du temps (même si c'était parfois mal formulé), sauf dans un cas où l'élève a suggéré que c'était « une norme pour calculer le déplacement d'un objet ». Finalement, ils ont

tous su définir l'accélération. Les élèves du groupe expérimental ont eu de la facilité avec les termes déplacement et vitesse, sauf pour un élève qui a lui aussi parlé de « la mesure d'un déplacement » pour la vitesse. Ils ont néanmoins eu beaucoup de difficulté avec la définition d'accélération. En fait, la plupart était capable de spécifier qu'il y avait une variation de vitesse, par contre ils oubliaient de préciser que c'était pendant un certain laps de temps.

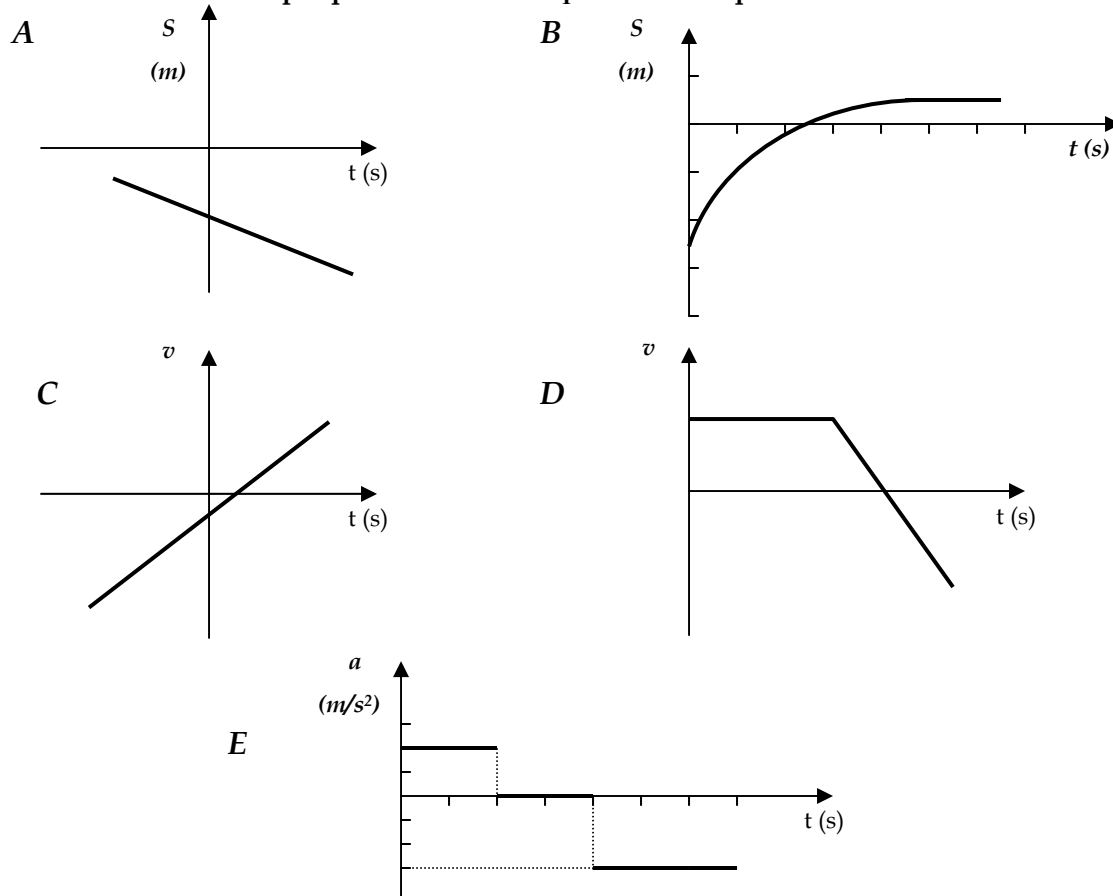
### Deuxième question

Celle-ci exigeait d'une part que les étudiants fassent une description de cinq graphiques différents (deux de la position en fonction du temps, deux de la vitesse en fonction du temps, et le dernier de l'accélération en fonction du temps), et qu'ils précisent ensuite comment on retrouve différentes variables dans des graphiques présélectionnés (voir la figure 8). Voici les résultats obtenus par les élèves des deux groupes, pour chaque section :

- Parmi les étudiants du groupe contrôle, les deux faibles n'ont pas été capables de faire une description juste ou complète des quatre premiers graphiques. Pour les graphiques de la position en fonction du temps, ils ont dit que la vitesse changeait (alors qu'elle était constante) lorsque le mobile reculait (graph. A). L'un d'eux a aussi pensé que le mobile accélérerait alors qu'il ralentissait (graph. B). Pour les graphiques de la vitesse en fonction du temps, ils n'ont pas été assez précis étant donné qu'il y avait trois sections différentes (ils n'en ont mentionné qu'une : graph. C). Un d'eux a aussi dit qu'une vitesse était nulle alors qu'elle était constante (graph. D). Pour le dernier graphique (accélération en fonction du temps : graph. E), aucun élève de ce groupe n'a été capable de bien décrire la situation. Trois d'entre eux ont dit que la vitesse était nulle alors qu'il était impossible de le

savoir (on savait seulement que la vitesse était constante). Ils ont tous fait une autre supposition, celle que le mobile avançait au début, ce qui les a induits en erreur dans la description du mouvement. Un faible a dit que la vitesse était constante dans deux sections du graphique alors qu'elle changeait.

FIGURE 8. Graphiques associés à la question 2 du questionnaire d'entrevue.



Les étudiants du groupe expérimental ont fait sensiblement les mêmes erreurs, aux mêmes endroits. Une seule erreur différente a été faite par un élève faible : pour un graphique de la position en fonction du temps, il a dit que le mobile descendait une côte (forme de la droite - linéaire négative - sur le graph. A) alors que la vitesse était constante et négative.

- Pour la seconde partie de la question, les élèves du groupe contrôle ont su, théoriquement, retrouver les valeurs des variables demandées (déplacement, vitesse, variation de vitesse et accélération).

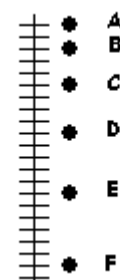
Seulement deux erreurs ont été commises (par des élèves faibles) : l'un a dit que l'accélération se trouvait en divisant la vitesse par le temps à un point donné (alors que c'est la variation de vitesse par variation de temps), l'autre élève faible a dit que la vitesse se trouvait dans un graphique de la position en fonction du temps en faisant la variation de vitesse par rapport à la variation de temps (ce qui correspond à trouver l'accélération dans un autre graphique). Les élèves du groupe expérimental ont réussi parfaitement cette section.

### Troisième question

On présentait aux élèves une photo multiple d'une balle qui tombe en chute libre, photographiée à l'aide d'une lampe stroboscopique (capable de s'allumer rapidement à des intervalles de temps fixes, voir la figure 9), lorsque l'air exerce une force de friction négligeable. Il y avait quatre sous-questions qui traitaient de l'accélération de la balle, de sa vitesse, de la force qui y était exercée, et du temps de parcours entre certains points. Les résultats sont présentés pour les deux groupes, par ordre de sous-question :

- Seuls les faibles du groupe contrôle ont dit que l'accélération changeait entre deux points pendant la chute (alors qu'elle est constante : c'est l'accélération gravitationnelle). Ces deux élèves ont d'ailleurs dit qu'elle changeait à cause de la force gravitationnelle, et que la valeur de l'accélération augmentait jusqu'à ce qu'elle corresponde à la valeur de l'accélération gravitationnelle. Dans le groupe expérimental, les élèves faibles ainsi qu'un moyen ont dit que l'accélération changeait entre les deux

FIGURE 9. Photo multiple d'une balle en chute libre.



hauteurs de la balle. L'un a dit que c'était à cause de la constante gravitationnelle, un autre a dit que c'était parce qu'il s'était écoulé plus de temps entre le début et le point le plus bas, et le dernier expliquait ce changement d'accélération parce que la vitesse changeait en fonction du temps, et que comme l'accélération est un changement de vitesse par rapport au temps, alors il y aura une augmentation de l'accélération parce que la vitesse augmente.

- Tous les élèves du groupe contrôle et du groupe expérimental ont dit que la vitesse était plus grande lorsque l'objet était rendu plus près du sol (ce qui est vrai).

- Lorsqu'on demandait aux élèves ce qui arrivait à la force appliquée sur la balle aux mêmes points où on leur avait demandé l'accélération, d'abord ceux qui avaient dit que l'accélération ne changeait pas ont aussi dit que la force ne changeait pas non plus. Par contre ceux qui trouvaient que l'accélération changeait ont eu des réponses variées. Deux du groupe contrôle ont dit qu'ils ne savaient pas pourquoi la force changeait (l'un disait que la force était plus grande plus bas et l'autre disait le contraire), alors qu'un autre a dit que c'était parce que l'accélération augmentait en tombant ce qui entraînait une augmentation de la force. Les deux faibles du groupe expérimental ont dit que l'accélération changeait mais qu'ils ne savaient pas pourquoi (l'un disait que la force était plus grande plus bas et l'autre disait le contraire). Un moyen de ce groupe a aussi dit que la force ne changeait pas alors qu'il avait dit que l'accélération changeait.

- La dernière sous-question avait un lien avec le fait que l'instrument utilisé était une lampe stroboscopique (même temps entre chaque point), ce qui était mentionné dans l'énoncé. Les élèves devaient dire si la balle prenait moins de temps pour parcourir deux points consécutifs

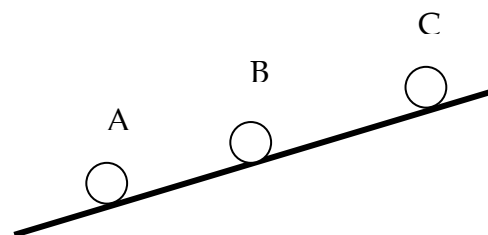


placés plus haut ou plus bas. Seul l'élève fort du groupe contrôle a dit que le temps était le même entre les points consécutifs. Trois des quatre autres ont dit que la balle prenait moins de temps pour parcourir les points plus bas parce que la balle allait plus vite (à cause de l'accélération) alors que l'autre a dit le contraire (il ne savait pas pourquoi). Dans le groupe expérimental, seuls les faibles ont dit que la balle prenait moins de temps pour parcourir les points plus bas, toujours à cause de l'accélération.

#### Quatrième question

Cette question ressemble un peu à la question précédente sauf qu'au lieu de traiter d'une chute libre, on traite d'un plan incliné lorsque la friction est négligeable (la montée de ce plan : tout de suite après la poussée, au milieu du plan, et jusqu'au sommet de la montée). On veut donc connaître, par rapport à trois positions différentes (voir la figure 10), le point où l'accélération de la balle est la plus grande, où sa vitesse est la plus grande, et où la force agissant sur la balle est la plus grande. On termine en demandant entre quels points le temps de parcours est le moins long, pour la première moitié de la montée ou pour la seconde. Les résultats sont présentés pour les deux groupes, par ordre de sous-question :

FIGURE 10. Position de la balle sur le plan incliné.



- Les élèves devaient d'abord déterminer la position où l'accélération était la plus grande. Le fort et un moyen du groupe contrôle ont dit que l'accélération était la même à chaque point (ce qui est vrai – l'accélération étant due à force gravitationnelle, affectée par l'angle du plan), alors que les trois autres ont dit que l'accélération était plus grande au bas du plan. Ces derniers spécifient que, d'abord l'accélération y est plus grande à ce

point parce que la gravité qui attire la balle vers le bas est plus faible à ce point que la force appliquée par la personne, qu'à cause de l'inclinaison la balle veut redescendre à cause de la force gravitationnelle parallèle au plan, ou encore que l'angle du plan fait que l'accélération diminue en montant. Dans le groupe expérimental, les élèves faibles ainsi qu'un moyen ont aussi dit que l'accélération était plus grande en bas du plan. L'un a proposé que la force gravitationnelle veuille faire redescendre la balle. Un autre a dit que c'était parce que la vitesse était plus grande en bas du plan. Finalement, le moyen a suggéré que l'accélération diminuait un peu comme « une batterie qui se déchargeait », et qu'elle diminuait quand la balle montait.

- Tous les élèves, des deux groupes, ont dit que la vitesse était plus grande en bas du plan incliné, ce qui est vrai.

- La troisième sous-question était liée à la première : on demande à quel endroit la force agissant sur la balle est la plus grande. Dans le groupe contrôle, seul l'élève fort a dit que la force était la même. Celui qui avait dit que l'accélération restait la même à la première sous-question a cette fois dit que la force changeait et était plus grande en bas car la force gravitationnelle avait moins le temps de prendre effet sur la balle. Les autres ont également dit que la force était plus grande au bas du plan, pour diverses raisons : la force changeait parce que la balle perdait la force communiquée, parce que comme la vitesse change, la force change également, ou parce que la poussée était plus grande au bas du plan. La moitié des élèves du groupe expérimental ont répondu que la force était plus grande au bas du plan. Les élèves moyens ont répondu de la façon suivante : celui qui avait dit que l'accélération ne changeait pas a dit que la force changeait parce qu'il y avait plus de poussée de main dans le bas, alors que celui qui avait dit que l'accélération changeait a dit que la force, elle, ne changeait pas parce que c'était les mêmes forces qui agissaient sur la balle tout au long du trajet. Les

faibles ont donné deux raisons pour que la balle subisse une plus grande force en bas, soit parce que l'accélération y est plus grande, ou encore parce que c'est un plan incliné et donc la force gravitationnelle tend à arrêter la balle pour la faire redescendre.

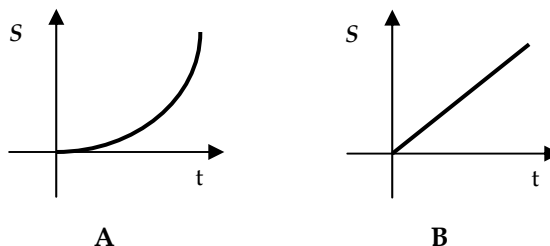
- Lorsqu'on demandait aux élèves de déterminer dans quelle section, la première moitié ou la seconde, la balle prenait moins de temps pour parcourir le trajet, tous les élèves des deux groupes ont dit que c'était la première partie de la montée. On leur demandait également de dire pourquoi le temps n'était pas pareil entre les deux sections. Ils ont tous dit que c'était parce que la vitesse changeait, sauf un élève faible de chaque groupe. Ces derniers ont dit que c'était parce que l'accélération changeait (plus grande au début de la montée).

### **Cinquième question**

On demandait aux élèves qu'ils tracent trois graphiques (des esquisses seulement) représentant le mouvement de la balle de la question précédente, pour la montée seulement. Ils devaient représenter les graphiques de la position en fonction du temps, de la vitesse en fonction du temps et de l'accélération en fonction du temps. Voici les résultats pour les deux groupes, pour chaque type de graphique :

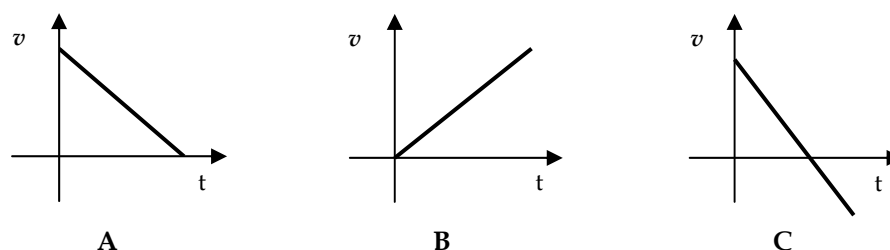
- Pour le graphique de la position en fonction du temps, les élèves des deux groupes ont tous d'abord tracé des courbes ascendantes (voir la figure 11). Par contre un moyen du groupe contrôle ainsi que les faibles des deux groupes ont tracé des droites indiquant un mouvement à vitesse constante (graph. A) au lieu de courbes de forme parabolique (graph. B).

**FIGURE 11. Graphiques de la position en fonction du temps obtenus pour la question 5.**



- Le second graphique a été le mieux réussi : tous les élèves ont tracé un graphique linéaire décroissant (graph. A), sauf un (moyen du groupe contrôle) qui a tracé une droite linéaire croissante (graph. B). Un élève du groupe expérimental (faible) a aussi tracé une droite trop longue qui se rendait dans la partie négative de l'axe des  $y$ , ce qui signifie que la vitesse devenait négative (graph. C).

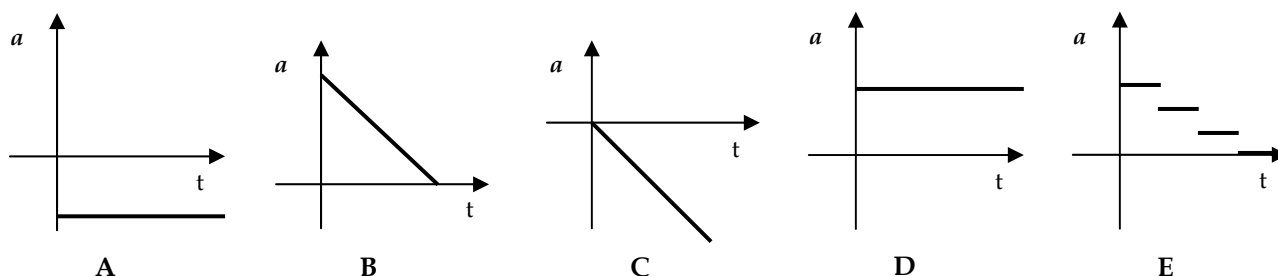
**FIGURE 12. Graphiques de la vitesse en fonction du temps obtenus pour la question 5.**



- Le graphique de l'accélération en fonction du temps (voir la figure 13) était censé être une fonction linéaire constante de valeur négative (graph. A : toujours la même valeur des  $y$ ). Dans le groupe contrôle, seul l'élève fort a réussi à tracer le bon graphique. Les autres ont tracé des droites de pente négative (un dans le premier quadrant : graph. B; et l'autre dans le quatrième quadrant : graph. C) ou des fonctions linéaires constantes

positives (graph. D) (l'un a même tracé des escaliers : graph. E). Dans le groupe expérimental, seul un faible n'a pas tracé le bon graphique, et en fait son graphique était une fonction linéaire constante, mais de valeur positive (graph. D).

**FIGURE 13. Graphiques de l'accélération en fonction du temps obtenus pour la question 5.**



### Sixième question

Cette fois, on lance une balle dans les airs (en négligeant la friction) et on s'intéresse à l'accélération lors de la montée, au sommet de la trajectoire et en descendant. Les élèves devaient choisir parmi huit choix de réponses différents. L'accélération, dans ce cas, est censée être négative et constante dans chaque segment. Les résultats sont présentés pour les deux groupes, pour chaque segment :

*Notez que les résultats excluent les réponses d'un élève faible du groupe expérimental qui a dû s'absenter lors de l'entrevue lorsqu'il était rendu à cette question. Nous n'avons donc pas de résultats pour cet élève pour les trois dernières questions.*

- Lorsque la balle monte, seuls les faibles du groupe contrôle ont fait une erreur en disant que l'accélération était positive et qu'elle augmentait. Dans le groupe expérimental, un élève faible a noté que l'accélération était positive et qu'elle augmentait, alors qu'un moyen a noté qu'elle était positive et constante. Les autres avaient une bonne réponse.

- Lorsque la balle est au sommet, les faibles du groupe contrôle ont noté deux choix : l'accélération est nulle ou elle est positive et constante. Les autres du groupe ont bien répondu. Tous les élèves du groupe expérimental ont noté que l'accélération au sommet de la courbe était nulle.

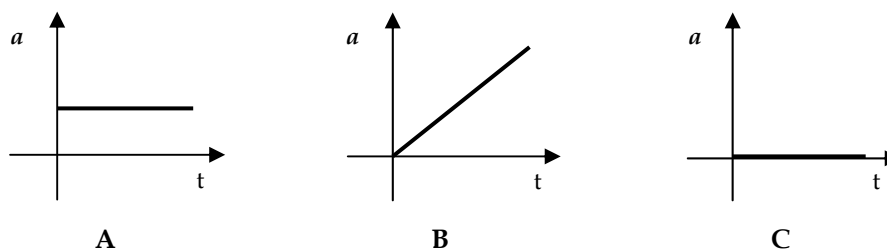
- Pour la descente, trois élèves du groupe contrôle ont dit que l'accélération était négative et constante. Par contre, un faible a dit qu'elle était négative et qu'elle augmentait, alors qu'un moyen a dit qu'elle était positive et constante. Seulement deux élèves du groupe expérimental ont obtenu le bon résultat. Les autres (un fort et un moyen) ont dit qu'elle était positive et constante, et un faible a dit qu'elle était négative mais qu'elle augmentait.

### **Septième question**

Cette fois, les élèves devaient choisir un graphique de l'accélération en fonction du temps correspondant à un énoncé. On donnait cinq énoncés traitant d'une auto qui se déplaçait en ligne droite sur une surface horizontale (le sens positif étant vers la droite). Voici les résultats, pour les deux groupes, pour chaque énoncé :

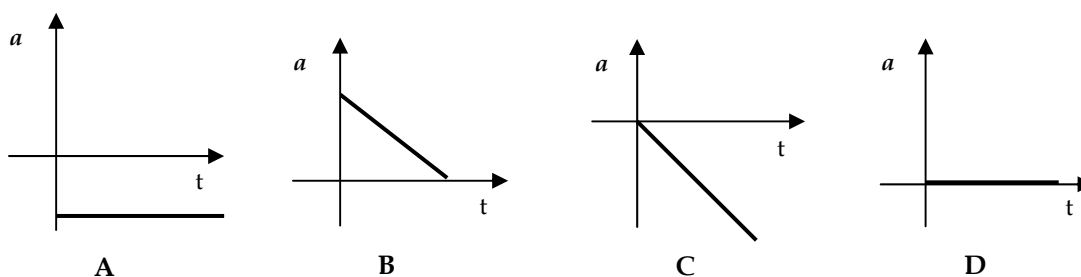
- Le premier cas étant lorsque la voiture se déplaçait vers la droite en accélérant à un taux constant. Dans le groupe contrôle, trois élèves (le fort, un moyen et un faible) ont choisi le bon graphique (graph. A : une fonction linéaire constante positive). Les deux autres ont choisi un graphique où l'accélération (positive) augmentait uniformément au lieu d'être constante (graph. B). Dans le groupe expérimental, seul un élève faible n'a pas choisi le bon graphique (il a choisi le graphique C : l'accélération était toujours nulle).

FIGURE 14. Graphiques de l'accélération en fonction du temps obtenus pour la question 7a.



- Deuxièmement, l'auto se déplaçait vers la droite en ralentissant à un taux constant. Le fort et un moyen du groupe contrôle ont bien choisi le graphique correspondant (graph. A : une fonction linéaire constante négative). Deux autres ont choisi un graphique où l'accélération diminuait de façon constante (graph. B : une droite négative). Un dernier (faible) a choisi un cas où l'accélération augmentait négativement de façon uniforme (graph. C : droite négative dans le quatrième quadrant). Dans le groupe expérimental, seul le faible n'a pas choisi le bon graphique : il a encore choisi un graphique où l'accélération était toujours nulle (graph. D).

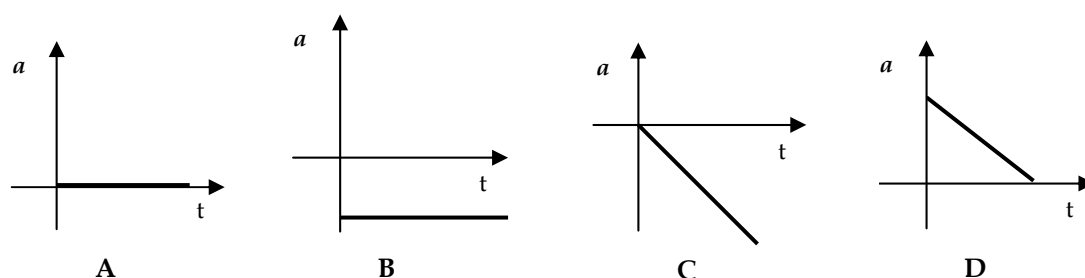
FIGURE 15. Graphiques de l'accélération en fonction du temps obtenus pour la question 7b.



- Dans le troisième cas, l'auto se déplace vers la gauche à vitesse constante. Il n'y que le fort du groupe contrôle qui a pris le graphique où l'accélération était nulle (graph. A). Trois autres ont choisi un graphique où l'accélération est négative et constante (graph. B), alors que le dernier (faible) a sélectionné le même graphique qu'au cas précédent où l'accélération augmentait négativement de façon uniforme (graph. C). Un faible et un

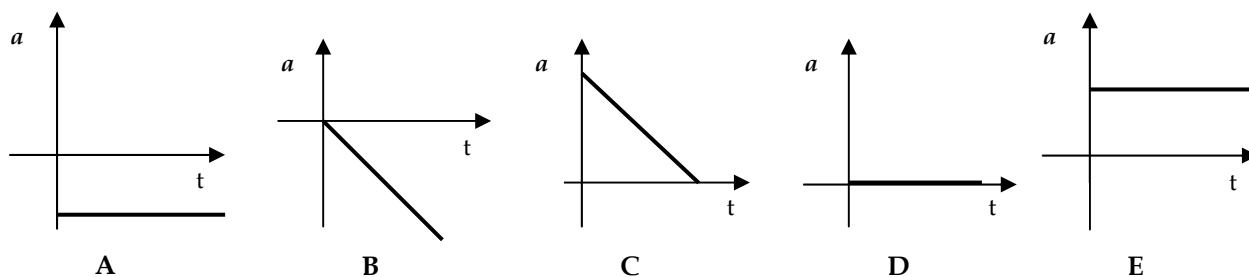
moyen du groupe expérimental ont choisi respectivement un graphique où l'accélération positive diminuait de façon constante (graph. D), et où l'accélération était négative et constante (graph. B), alors que les autres ont fait le bon choix (graph. A).

**FIGURE 16. Graphiques de l'accélération en fonction du temps obtenus pour la question 7c.**



- Lorsque l'auto se déplace vers la gauche avec une accélération constante (graph. A), seuls le fort et un faible du groupe contrôle ont fait un choix erroné, le premier sélectionnant une situation où l'accélération négative augmentait (graph. B) et l'autre un cas où l'accélération positive diminuait constamment (graph. C). Dans le groupe expérimental, l'élève faible et un élève moyen ont fait un mauvais choix, soit un cas où l'accélération est toujours nulle (graph. D) et l'autre un cas où l'accélération est constante mais positive (graph. E). Notons que le fort, n'étant pas sûr de lui-même, a indiqué deux réponses pour ce cas : la bonne réponse (graph. A) et le dernier cas mentionné (graph. E).

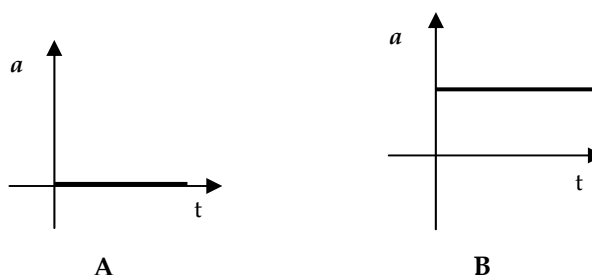
**FIGURE 17. Graphiques de l'accélération en fonction du temps obtenus pour la question 7d.**





• Pour le dernier cas, l'auto se déplaçait vers la droite à vitesse constante (graph. A). Les deux faibles du groupe contrôle ont choisi un cas erroné : une situation où l'accélération est positive et constante (graph. B). Tous les élèves du groupe expérimental ont réussi ce cas.

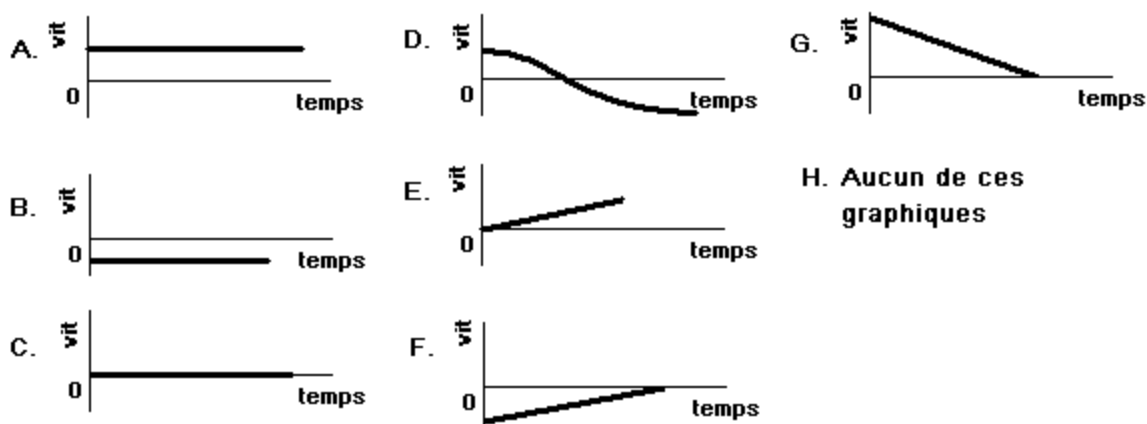
FIGURE 18. Graphiques de l'accélération en fonction du temps obtenus pour la question 7e.



### Huitième question

Pour cette dernière question de l'entrevue, les élèves reprenaient la situation de la question précédente mais ils devaient faire correspondre les énoncés à des graphiques de la vitesse (au lieu de l'accélération) en fonction du temps. Il y avait quatre énoncés, mais à cause d'une erreur de transcription dans le cahier de réponse des élèves, le quatrième était identique au premier. Il n'y aura donc que les trois premiers énoncés qui seront traités. Notez que pour le quatrième énoncé, tous les élèves ont donné la même réponse qu'au premier, c'est pourquoi nous le retirons des résultats. Ces derniers sont présentés, pour les deux groupes, pour les trois énoncés :

Figure 19. Graphiques de la vitesse en fonction du temps obtenus pour la question 8.



- Le premier cas représentait une auto qui se déplaçait vers la droite en accélérant à un taux constant. Tous les élèves, des deux groupes, ont choisi le graphique E, une droite ascendante dans le premier quadrant.

- Dans le cas où l'auto changeait de direction, un seul élève (faible) du groupe contrôle n'a pas choisi le bon graphique (graph. D). Il a plutôt sélectionné une lettre indiquant qu'aucun graphique ne représentait cette situation (H). Dans le groupe expérimental, deux élèves (un faible et un moyen) n'ont pas choisi la bonne situation. Le premier a choisi un graphique où la vitesse est toujours nulle (graph. C), et le second une situation où la vitesse positive diminue jusqu'à atteindre une valeur nulle (graph. G).

- Le dernier énoncé disait que l'auto se déplaçait vers la gauche à vitesse constante. Les deux élèves faibles du groupe contrôle n'ont pas choisi le graphique où la vitesse était négative et constante (graph. B : droite constante de même valeur des ordonnées). L'un a sélectionné un graphique indiquant une vitesse positive qui diminuait constamment (graph. G), et l'autre un graphique dont la vitesse négative diminuait avec un taux constant (graph. F). Dans le groupe expérimental, tous les élèves ont choisi le graphique correspondant à l'énoncé. Notons qu'un élève fort a choisi deux réponses : l'une étant la bonne situation, et l'autre étant un cas où la vitesse était constante mais positive au lieu d'être négative (graph. A).

#### *5.2.2. Résultats par compréhension des concepts de vitesse et d'accélération*

Soulignons que pour tous les résultats regroupés, nous voulions être réellement en mesure de comparer les résultats des deux groupes, alors nous avons choisi de prendre les résultats de seulement quatre élèves de chaque groupe : un élève faible, deux élèves moyens et un élève fort. Nous n'avions pas le même nombre d'élèves forts (seulement un dans le groupe contrôle) ni d'élèves faibles (l'un du groupe expérimental ayant dû quitter pendant

l'entrevue), alors il était plus facile d'agir ainsi pour comparer les résultats. Lorsqu'il apparaît des valeurs de 0.5 (pour un élève faible ou fort) dans les tableaux suivants (tableaux IX à XII), c'est qu'il y avait deux élèves de cette force qui ont passé le test, et qu'un seul des deux avait la bonne réponse.

Afin d'avoir une idée juste de la compréhension des étudiants des concepts de vitesse et d'accélération, nous avons regroupé tous les résultats d'entrevue associés premièrement à la vitesse (questions 3-b, 4-b, 5-b, 8 au complet) et ensuite à l'accélération (questions 3-a, 4-a, 5-c, 6 au complet, et 7 au complet).

Le tableau IX nous montre que les étudiants des deux groupes ont obtenu d'excellents résultats (moyenne de 85 % et plus) pour les questions en lien avec la vitesse, et sensiblement pareils pour les deux groupes.

<b>Tableau IX. Résultats des étudiants à l'entrevue au niveau du concept de vitesse, en fonction de leur force respective et de leur groupe.</b>								
	<b>Groupe contrôle</b>				<b>Groupe expérimental</b>			
	Faible /1	Moyen /2	Fort /1	Moy. (%)	Faible /1	Moyen /2	Fort /1	Moy. (%)
<i>Question 3-b</i>	1	2	1	100	1	2	1	100
<i>Question 4-b</i>	1	2	1	100	1	2	1	100
<i>Question 5-b</i>	1	1	1	75	0.5	1	1	63
<i>Question 8-a</i>	1	2	1	100	1	2	1	100
<i>Question 8-b</i>	0.5	2	1	88	0	1	1	50
<i>Question 8-c</i>	0	2	1	75	1	2	1	100
<i>Moyenne pour ces questions (%)</i>	75	92	100	90	75	83	100	85
<i>Moyenne quest. 8 (%)</i>	50	100	100	88	67	83	100	83

En ce qui concerne les questions portant sur l'accélération (tableau X), on constate d'abord que les résultats sont beaucoup plus faibles que pour la notion de vitesse, mais plutôt comparables pour les deux groupes (moyenne globale autour de 60 % pour le groupe contrôle et de 53 % pour le groupe expérimental). Les élèves du groupe contrôle ont obtenu de bien meilleurs résultats en ce qui concerne la question 6 (celle où une balle était lancée dans les airs et que l'on cherchait l'accélération à chaque moment : montée, sommet et descente). Ils ont en effet obtenu une moyenne de groupe supérieure de 50 % à celle du groupe expérimental. Par contre, les élèves du groupe expérimental ont fait mieux (moyenne de 15 % de plus) que l'autre groupe pour la question 7. Ils devaient retrouver le graphique d'accélération en fonction du temps associé à un énoncé textuel.

*Tableau X. Résultats des étudiants à l'entrevue au niveau du concept d'accélération, en fonction de leur force respective et de leur groupe.*

	<i>Groupe contrôle</i>				<i>Groupe expérimental</i>			
	Faible /1	Moyen /2	Fort /1	Moy. (%)	Faible /1	Moyen /2	Fort /1	Moy. (%)
<i>Question 3-a</i>	0	2	1	75	0	1	1	50
<i>Question 4-a</i>	0	1	1	50	0	1	1	50
<i>Question 5-c</i>	0	0	1	25	0	2	1	75
<i>Question 6-a</i>	0	2	1	75	0	1	1	50
<i>Question 6-b</i>	0	2	1	75	0	0	0	0
<i>Question 6-c</i>	0.5	2	1	88	0	1	0.5	38
<i>Question 7-a</i>	0.5	1	1	63	0	2	1	75
<i>Question 7-b</i>	0	1	1	50	0	2	1	75
<i>Question 7-c</i>	0	0	1	25	0	1	1	50
<i>Question 7-d</i>	0.5	2	0	63	0	1	1	50
<i>Question 7-e</i>	0	2	1	75	1	2	1	100
<i>Moyenne pour ces questions (%)</i>	14	68	91	60	9	64	86	53
<i>Moyenne quest. 6 (%)</i>	17	100	100	79	0	33	50	29
<i>Moyenne quest. 7 (%)</i>	20	60	80	55	20	80	100	70

### 5.2.3. Résultats par type d'habileté travaillée

La cinquième question de l'entrevue exigeait que les élèves tracent trois graphiques différents (position, vitesse et accélération en fonction du temps), à partir de la situation de la question précédente (une montée sur un plan incliné). Les résultats présentés au tableau XI montrent que les élèves du groupe expérimental ont obtenu des résultats supérieurs (environ 30 % de plus) à ceux du groupe contrôle pour tous les types de graphiques, et que

pour le graphique de l'accélération en fonction du temps, leurs résultats étaient nettement supérieurs (plus de 60 % de différence).

<b>Tableau XI.</b> Résultats des étudiants à l'entrevue au niveau de l'habileté à construire des graphiques, en fonction de leur force respective et de leur groupe.								
	<i>Groupe contrôle</i>				<i>Groupe expérimental</i>			
	Faible /1	Moyen /2	Fort /1	Moy. (%)	Faible /1	Moyen /2	Fort /1	Moy. (%)
<i>Question 5-a</i>	0	1	1	50	0	2	1	75
<i>Question 5-b</i>	1	1	1	75	0.5	2	1	88
<i>Question 5-c</i>	0	0	1	25	0.5	2	1	88
<i>Moyenne quest. 5 (%)</i>	33	33	100	50	33	100	100	83

Les questions 7 et 8 jumelées fournissent d'autres résultats lorsqu'on s'intéresse à l'habileté des étudiants à choisir un graphique associé à un énoncé textuel. Il semble qu'en moyenne le groupe expérimental a obtenu des résultats légèrement supérieurs à ceux de l'autre groupe en ce qui a trait à cette habileté. Il y a des petites variations de résultats si on considère le type de graphique que les étudiants doivent choisir, après la lecture de l'énoncé. Les graphiques de la question 7, accélération en fonction du temps, ont donné de meilleurs résultats pour le groupe expérimental (nous l'avons déjà mentionné à la section 5.2.2) que les graphiques de la vitesse en fonction du temps de la question 8. Pour cette dernière, les résultats des deux groupes sont comparables, et surtout, beaucoup plus élevés que pour la question 7 (moyenne de 20 % plus élevée).

**Tableau XII.** Résultats des étudiants à l’entrevue au niveau de l’habileté à choisir un graphique associé à un énoncé textuel, en fonction de leur force respective et de leur groupe.

	<i>Groupe contrôle</i>				<i>Groupe expérimental</i>			
	Faible /1	Moyen /2	Fort /1	Moy. (%)	Faible /1	Moyen /2	Fort /1	Moy. (%)
<i>Question 7-a</i>	0.5	1	1	63	0	2	1	75
<i>Question 7-b</i>	0	1	1	50	0	2	1	75
<i>Question 7-c</i>	0	0	1	25	0	1	1	50
<i>Question 7-d</i>	0.5	2	0	63	0	1	1	50
<i>Question 7-e</i>	0	2	1	75	1	2	1	100
<i>Question 8-a</i>	1	2	1	100	1	2	1	100
<i>Question 8-b</i>	0.5	2	1	88	0	1	1	50
<i>Question 8-c</i>	0	2	1	75	1	2	1	100
<i>Moyenne pour ces questions (%)</i>	31	75	88	67	38	81	100	75
<i>Moyenne quest. 7 (%)</i>	20	60	80	55	20	80	100	70
<i>Moyenne quest. 8 (%)</i>	50	100	100	88	67	83	100	83

#### 5.2.4. Analyse des résultats

Nous présentons maintenant une analyse un peu plus en profondeur des résultats obtenus lors des entrevues pour les questions 1 et 2. Pour ce faire, nous avons comparé les résultats du groupe expérimental par rapport à ceux du groupe contrôle. De plus, nous avons comparé les résultats pour les élèves de forces différentes.

La première question de l’entrevue ne fournit pas beaucoup d’information, sinon que l’on sait que les élèves du groupe expérimental ont eu plus de

facilité à définir le déplacement que les élèves du groupe contrôle, et que ces derniers ont, quant à eux, réussi à mieux définir l'accélération que ceux du groupe expérimental (la vitesse a été bien définie dans les deux groupes). Par contre, on constate avec la deuxième question que, même si les élèves du groupe expérimental ont eu de la difficulté à définir l'accélération, ils ont néanmoins réussi à déterminer la méthode (la pente de la droite) pour la retrouver dans un graphique de la vitesse en fonction du temps (2<sup>e</sup> partie de la deuxième question).

La seconde question nous informe aussi sur le fait que les étudiants des deux groupes ont de la difficulté à décrire le mouvement d'un mobile en regardant le graphique associé à ce mouvement, bien qu'ils sachent théoriquement comment retrouver les variables de déplacement, vitesse, variation de vitesse et accélération sur les divers types de graphique. En effet, les onze étudiants ont fait plus d'une vingtaine d'erreurs en faisant la lecture des cinq graphiques alors que pour tous les élèves, il n'y a eu que deux erreurs commises sur les méthodes théoriques pour retrouver les variables dans les différents graphiques.

En ce qui concerne la force des élèves (élèves faibles, moyens et forts), nous n'arrivons pas à établir de lien particulier, si ce n'est que la force des élèves lors du post-test TUG-K semble s'être maintenue jusqu'au moment du passage des entrevues. Les élèves forts, des deux groupes, ont continué d'avoir des résultats excellents, et ainsi de suite pour les autres élèves. Il est arrivé à quelques reprises que des élèves catégorisés « moyens » obtiennent des résultats aussi élevés que ceux catégorisés « forts » (jusqu'à 100 % pour le groupe expérimental à la question 5 et pour le groupe contrôle à la question 8), mais jamais ils n'ont eu des résultats plus élevés.



### 5.2.5. Discussion

Les deux premières questions de l'entrevue nous font réaliser que les étudiants des deux groupes connaissent les relations qui permettent d'obtenir certaines variables dans les trois types de graphique, mais qu'ils ont de la difficulté à les utiliser lorsqu'ils doivent faire la lecture de graphiques. De plus, ils ont eu de la difficulté à définir les termes les plus importants en cinématique, soit le déplacement, la vitesse et l'accélération. Le dernier graphique de la première question et leur définition d'accélération nous ont permis de constater qu'ils confondent également les termes accélération et variation de vitesse. Un élève a même considéré un graphique de la position en fonction du temps comme une photographie de la réalité. Nous avons déjà vu, dans le cadre conceptuel, que Beichner (1994) avait également répertorié ces mêmes difficultés dans l'une de ses études (voir la section 3.2.1).

Nous remarquons également que, comme prédit dans l'étude de Brasell (1987), les étudiants ont eu plus de difficultés à travailler avec des variables plus complexes (voir section 3.2.1). En effet, les résultats obtenus nous montrent un écart assez prononcé (environ 30 % de différence entre les moyennes) entre les questions où il était question des notions de vitesse par rapport à celles où l'on travaillait avec l'accélération. Cette dernière variable, nous l'avons vu lorsque nous discutons des difficultés en cinématique, est difficile à interpréter notamment dans des situations concrètes ou dans les graphiques à cause du sens qui lui est conféré. Beaucoup d'erreurs dans les questions d'entrevue venaient du fait que les étudiants se trompaient de sens de l'accélération, et donc de son signe.

Les résultats de la cinquième question étaient intéressants parce que le traçage des graphiques ne faisait pas partie des sept objectifs à atteindre dans le test TUG-K (voir le tableau III). L'entrevue nous permet d'obtenir des résultats à ce sujet, mais seulement deux mois après que les élèves aient passé le post-test. Il semble que les étudiants du groupe expérimental soient meilleurs pour esquisser la courbe d'un graphique en général, et surtout celui de l'accélération en fonction du temps. Il y a néanmoins un bémol à cette constatation : parmi les élèves du groupe expérimental qui ont bien su tracer cette droite (accélération constante) dans ce graphique, deux croyaient, à la question précédente, que l'accélération changeait. Quelle que soit la raison de cette réponse, ils ont changé d'avis lorsqu'ils ont tracé leur graphique de l'accélération en fonction du temps. Notons toutefois qu'avant de tracer ce graphique, ils avaient déjà tracé ceux de la position et de la vitesse en fonction du temps. Leur graphique de la vitesse en fonction du temps étant bon, s'ils s'y sont fiés pour tracer celui de l'accélération, il peut paraître normal que ce dernier soit également bon. Donc, pour cette question, ils devaient non seulement tracer l'esquisse d'un graphique correspondant à une situation, mais ils traçaient également le graphique de l'accélération en fonction du temps, suite à la lecture d'un autre de la vitesse en fonction du temps. Il y avait deux objectifs possibles et, à ce stade, nous ne pouvons savoir pour lequel des deux (ou peut-être les deux) objectifs les élèves du groupe expérimental ont été meilleurs que ceux du groupe contrôle. Les résultats obtenus à une question ultérieure peuvent toutefois nous éclairer.

Les résultats à la question 7 (avoir l'habileté à choisir le bon graphique de l'accélération en fonction du temps par rapport à une description textuelle) nous ont montré que les élèves du groupe expérimental avaient un peu plus de facilité pour cette habileté (d'après le petit échantillon d'élèves que nous

avions) que ceux du groupe contrôle. Ce n'est évidemment pas le même cas que celui de la cinquième question, mais on peut toutefois voir des similitudes. À la septième question, les élèves ne devaient pas tracer l'esquisse d'un graphique, mais ils devaient choisir le bon parmi plusieurs, actions qui se ressemblent quand l'élève a le bon schéma en tête. Les résultats de cette question confirment donc que les élèves du groupe expérimental ont été également meilleurs pour tracer le graphique de l'accélération en fonction du temps par rapport à une situation particulière. Par contre, nous ne pouvons pas savoir, du moins avec cette entrevue, s'il y avait une différence entre les deux groupes quant à la capacité de tracer un graphique de l'accélération en fonction du temps par rapport à un autre de la vitesse en fonction du temps.

Ces derniers résultats (question 7) peuvent paraître surprenants à première vue puisqu'ils vont à l'encontre de ceux obtenus avec le test TUG-K. Au post-test et au pré-test, les étudiants du groupe expérimental ont obtenu de moins bons résultats (64 % au pré-test et 71 % au post-test) que le groupe contrôle (71 % au pré-test et 85 % au post-test) pour le 7<sup>e</sup> type de questions : sélectionner le graphique correspondant à la description textuelle d'un mouvement. Il faut toutefois nuancer ces résultats parce que dans le cas de la septième question de l'entrevue, les étudiants devaient sélectionner un seul type de graphique correspondant à un énoncé textuel, celui de l'accélération en fonction du temps. Pour le 7<sup>e</sup> type de question dans le test TUG-K, les étudiants pouvaient faire ce choix de graphique pour deux questions sur trois, et le choix de réponses ne révélait ce type de graphique que quatre fois sur dix (les autres étant des graphiques de la position ou de la vitesse en fonction du temps). Considérant ces choix de réponses, les élèves du groupe expérimental étaient toujours plus faibles que ceux du groupe contrôle, mais

avec une marge plus faible (seulement 4 % de différence, entre 77 et 81 %). C'est d'ailleurs exclusivement pour le graphique de l'accélération en fonction du temps que les résultats du groupe expérimental sont plus élevés que ceux du groupe contrôle dans l'entrevue, car pour le choix d'un graphique de vitesse en fonction du temps par rapport à une description textuelle (voir section 5.2.3), les résultats des deux groupes sont pratiquement similaires (le groupe contrôle obtient même des résultats légèrement plus élevés). Ainsi, les résultats de l'entrevue montreraient que les élèves du groupe expérimental, deux mois après le passage du post-test, auraient conservé leur capacité à choisir ce type de graphique en fonction d'un énoncé textuel (résultats passant de 77 à 70 %), alors que les résultats de ceux du groupe contrôle se seraient détériorés (passant de 81 à 55 %).

La question 6 est certainement celle pour laquelle les résultats sont les plus difficiles à interpréter. Nous ne comprenons pas pourquoi cette question, où il est nullement question de graphique, et où l'on traite de l'accélération (variable qui semble être mieux maîtrisée par le groupe expérimental), le groupe contrôle obtient des résultats largement supérieurs à ceux du groupe expérimental. Peut-être que la meilleure compréhension de la variable accélération par le groupe expérimental n'est vérifiable que lorsque ces étudiants sont en présence d'un graphique.

En résumé, cette entrevue avait comme objectif d'explorer différentes pistes de compréhension, suite au test TUG-K. Il apparaît que les erreurs des élèves correspondent, dans ce cas également, à plusieurs ciblées antérieurement par d'autres chercheurs. Il semble aussi que des résultats de l'entrevue nous montrent que le type de laboratoire aurait peut-être eu, à long terme, une incidence sur la compréhension qualitative de la variable accélération. Cette

compréhension se manifeste dans le traçage d'un graphique de l'accélération en fonction du temps, pour une situation particulière (question cinq) et dans le choix d'un graphique de l'accélération en fonction d'un énoncé textuel (question sept). Cette piste est intéressante parce que chacun des groupes devait suivre ou élaborer une série d'expérimentations où des mobiles se mouvaient avec une accélération non nulle. Les étudiants auraient une meilleure capacité à comprendre le concept d'accélération par l'entremise d'un laboratoire par enquête (selon une approche conceptuelle) que par l'entremise d'un laboratoire traditionnel. Ces résultats peuvent probablement être justifiés par le fait que les élèves qui devaient suivre un laboratoire par enquête devaient eux-mêmes élaborer le protocole d'expérience afin de recueillir des résultats où le mobile accélérât. Ils ne faisaient pas que suivre un protocole déjà écrit pour eux, ils devaient s'assurer que le mobile accélérât bel et bien, et ce, sur un graphique dont les points étaient tracés simultanément. Ils se sont sans doute mieux appropriés la notion d'accélération (de façon graphique entre autre) par l'intermédiaire d'un laboratoire par enquête, étant obligés de réfléchir aux impacts sur le graphique d'un mobile qui accélérât. Dans bien des cas, les élèves devaient même reprendre leur montage car celui-ci ne respectait pas ce critère (ils avaient par exemple un montage avec un mobile ayant une vitesse plus grande et non en accélération). D'ailleurs, suite à notre observation des étudiants lorsqu'ils réalisaient leurs expérimentations en laboratoire, il a pu sembler que la motivation ait été plus grande lorsque les élèves construisaient eux-mêmes leur propre protocole. Le défi de réussir à changer les paramètres de l'expérimentation et que le mobile puisse accélérer semblait accrocher la majorité des élèves. Certains avaient néanmoins de la difficulté, n'étant pas habitués à contrôler eux-mêmes les paramètres expérimentaux.

Bien entendu, il serait important de vérifier cette piste de compréhension qualitative de l'accélération avec un plus grand groupe d'étudiants, mais aussi avec un plus grand éventail de questions sur l'accélération.

## **6. Conclusion**

Le but de la présente recherche était de déterminer si, dans le cadre d'un cours de physique de cinquième secondaire, l'utilisation d'un laboratoire par enquête guidée permettait aux élèves de mieux comprendre des notions de cinématique par l'intermédiaire des graphiques, que le laboratoire traditionnel. L'évaluation de la compréhension a été faite à partir du test TUG-K et d'entrevues individuelles.

La conception du laboratoire par enquête guidée a d'abord été influencée par l'une des deux grandes perspectives sur le changement conceptuel vécu par les élèves, soit celle de continuité préconisée en physique par diSessa. Ce laboratoire est axé sur une approche dite conceptuelle favorisant le raisonnement qualitatif, et qui accroche la physique aux expériences des élèves dans le monde de tous les jours. Le laboratoire, une activité pratique qui met en contexte les notions théoriques vues en classe, était en soit une activité riche car il permettait aux étudiants d'acquérir ou de pratiquer plusieurs types d'habiletés comme des habiletés de processus (de base et intégrées) et d'autres cognitives (de bas ou de haut niveau). La cinématique, volet de la matière traitée dans le cadre de ce projet de recherche, nécessitait la compréhension de différentes variables comme le déplacement, la vitesse et l'accélération. Les expérimentations assistées par ordinateur permettaient de bien visualiser, avec l'aide des graphiques comme outils, l'évolution de chacune de ces variables lors du mouvement d'un mobile accéléré.

Nous avons voulu inscrire ce projet dans une série d'études portant sur des approches d'enseignement exploitant le laboratoire comme moyen de transmission des concepts mécaniques en physique. Ainsi, nous avons fait suivre à deux groupes d'élèves (comportant des caractéristiques similaires) deux laboratoires différents, l'un traditionnel portant sur une approche



traditionnelle d'enseignement, et l'autre par enquête s'associant à une approche conceptuelle d'enseignement. Nous leur avons fait passer un test évaluant la compréhension conceptuelle des graphiques en cinématique (le TUG-K) à deux reprises : le premier avant que les étudiants ne s'investissent dans le laboratoire et le second après la réalisation des expérimentations. Deux mois à la suite du post-test, nous avons fait passer des entrevues individuelles portant sur une compréhension conceptuelle de la cinématique à un petit groupe d'élèves (faible, moyen et fort) de chaque groupe.

Ce projet de recherche est d'abord une réussite au niveau de la conception d'un nouveau laboratoire. En effet, il fallait d'abord élaborer un laboratoire par enquête respectant de nombreux critères qui avaient été définis dans d'autres contextes ou pour d'autres contenus de cours, et se les appropriés dans le contexte de cette étude. Les élèves qui ont suivi ce type de laboratoire ont obtenu de très bons résultats au test TUG-K (bien meilleurs que ceux obtenus, par exemple, dans le cadre du projet de recherche de Beichner, en 1994), comparables à ceux qui ont suivi l'autre type de laboratoire. On peut donc conclure que le laboratoire construit est valable, jusqu'à un certain point, pour enseigner la plupart des notions de cinématique.

Les résultats au test TUG-K ne nous ont pas permis de faire une distinction claire entre les résultats des deux groupes (par enquête ou traditionnel), ce qui ne nous permettait pas, avec cet instrument, de conclure que le type de laboratoire ait une influence directe sur la compréhension des notions de cinématique par l'intermédiaire des graphiques. Néanmoins, les résultats de l'entrevue passée deux mois après le passage du post-test nous ont permis d'entrevoir une piste concernant la compréhension du concept d'accélération. En effet, les résultats montrent que les étudiants qui ont suivi

le laboratoire par enquête guidée ont obtenu de meilleurs résultats que ceux qui ont suivi le laboratoire traditionnel lorsqu'ils devaient tracer le graphique de l'accélération en fonction du temps à partir d'une situation particulière, et lorsqu'ils devaient choisir un graphique de l'accélération en fonction du temps correspondant à un énoncé textuel. Ainsi, nous pourrions croire qu'un laboratoire associé à une approche conceptuelle permettrait aux étudiants, à long terme, de mieux s'appropriier les notions d'accélération que le ferait un laboratoire traditionnel. Ces résultats rejoignent donc, pour ce qui est du concept d'accélération, ce que nous préconisions au départ.

Quelques modifications à ce projet de recherche auraient peut-être permis d'obtenir des résultats plus convaincants. D'abord, le nombre de participants ayant participé à l'étude n'est pas très élevé. On aurait avantage à rejoindre un plus grand échantillon, notamment pour les entrevues, où seulement cinq ou six élèves répondaient par groupe. Ensuite, le fait que les élèves des deux groupes choisis soient très forts d'emblée peut nous empêcher de distinguer une amélioration significative. Il serait donc pertinent de refaire les mêmes tests et entrevues dans des écoles publiques régulières, et voir l'évolution des élèves suite aux tests dans ce cas. Ou encore, nous aurions pu faire passer le pré-test dans l'une de ces écoles régulières pour évaluer la force relative des élèves des deux écoles et ainsi établir un « baseline ». On pourrait également questionner la capacité des laboratoires utilisés pour développer certains objectifs du test. Par exemple, les questions exploitant la capacité à déterminer la variation de vitesse à partir d'un graphique de l'accélération en fonction du temps ont été très mal réussies au pré-test mais aussi au post-test pour les deux groupes (il n'y a pas eu de réelle évolution non plus). Cet objectif ne pouvait peut-être pas être atteint grâce à ces laboratoires, et donc on pourrait ne pas tenter d'évaluer ce type d'objectif. Dans un autre ordre

d'idée, on pourrait revoir la forme du questionnaire d'entrevue. Au lieu d'avoir des questions conceptuelles traitant de la cinématique et de la dynamique (pour des fins d'exploration), il serait peut-être plus efficace de prendre des questions n'évaluant que le volet cinématique, et ce, pour des questions liées à chaque fois à des graphiques. Les informations qui en proviendraient seraient certainement plus riches à évaluer. Finalement, le passage d'un autre test TUG-K, plusieurs semaines après le post-test, nous permettrait de savoir si les concepts sont réellement bien intégrés par les élèves. Les élèves, au moment du post-test sont imprégnés des concepts car ils y travaillent pendant les cours précédents, mais il serait intéressant de voir si plusieurs semaines plus tard (un peu comme le concept d'accélération dans notre entrevue), les élèves des deux groupes ont aussi bien « retenu » les dits concepts.

Cette étude ouvre la voie à plusieurs autres en sciences et au niveau secondaire. On pourrait, par exemple, comparer l'impact du type de laboratoire sur la compréhension d'autres concepts en physique : la dynamique et les transferts d'énergie (en mécanique), ou encore la réflexion et la réfraction (en optique). On pourrait égarer faire la comparaison dans d'autres sphères des sciences comme l'électricité, la thermodynamique, les réactions chimiques, etc. Il serait également intéressant, dans un contexte où il n'y a pas de réelle contrainte de temps en classe, que l'on compare un autre type de laboratoire associé à une approche conceptuelle, comme le laboratoire par problématique ou par enquête non guidée, avec un laboratoire traditionnel.

## **7. Bibliographie**

- Astolfi, J.-P., Darot, É., Ginsburger-Vogel, Y. et Toussaint, J. (1997). *Mots-clés de la didactique des sciences*. Bruxelles, Belgique : De Boeck.
- Bécu-Robinault, K. (2002). Modelling activities of students during a traditional labwork. In *Teaching and learning in the science laboratory*, eds D. Psillos & H. Niedderer, 51-64. Pays-Bas: Kluwer academic publishers.
- Beichner, R. (1994). Testing student understanding of kinematics graphs. *American Journal of Physics*, 62, 750-762.
- Berger, C. F., Lu, C. R., Belzer, S. J. & Voss, B. E. (1995). Research on the uses of technology in science education. In *Handbook of research on science teaching and learning*, ed. D. L. Gabel. New York: Macmillan Publishing Co.
- Bouchard, R. (1992). *Phénomènes mécaniques, Physique 534*. Montréal, Québec : Lidec.
- Brasell, H. (1987). The effect of real-time laboratory graphing on learning graphic representations of distance and velocity. *Journal of Research in Science Teaching*, 24(4), 385-95.
- Brasell, H. et Budd Rowe, M. (1993). Graphing skills among high school physics students. *School Science and Mathematics*, 93(2), 63-70.
- Brousseau, N. & Vázquez-Abad, J. (2007). Enseigner les sciences par une approche conceptuelle en physique et en chimie. In *Enseigner les sciences: Regards Multiples*, eds. P. Potvin, M. Riopel & S. Masson. Québec, Éditions MultiMondes, pp. 81-93.
- Bruner, J. S. (1966). *Toward a Theory of Instruction*. Cambridge, Mass.: Belkapp Press.
- Bybee, R. (2000). Teaching science as inquiry. In *Inquiring into inquiry learning and teaching*, eds. J. Minstrel & E. H. Van Zee. Washington, DC: American Association for the Advancement of Science.
- Caramazza, A., McCloskey, M. et Green, B. (1981). Naive beliefs in "sophisticated" subjects: Misconceptions about trajectories of objects. *Cognition*, 9, 117.

- Champagne, A.B., Klopfer, L.E., et Anderson, J.H. (1980). Factors influencing the learning of classical mechanics. *American Journal of Physics*, 48, 1074.
- Champagne, A.B. et Klopfer, L.E. (1982). A causal model of students' achievement in a college physics course. *Journal of Research in Science Teaching*, 19, 299.
- Clement, J. (1982). Students' preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, 50, 66.
- Confrey, J. (1990). A review of the research on student conceptions in mathematics, science and programming. *Review of Research in Education*, 16, 3-56.
- diSessa, A. A. (1993). Toward an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, 10(2&3), 105-225.
- diSessa, A. A. (2002). Why 'conceptual ecology' is good. In *Reconsidering conceptual change*, eds. M. Limon & L. Mason (pp. 29-60). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- diSessa, A. A. & Sherin, B. L. (1998). What changes in conceptual change? *International Journal of Science Education*, 20(10), 1155-1191.
- Duit, R. (1991). Students' Conceptual Frameworks: Consequences for Learning Science. In *The Psychology of Learning Science*, eds. S. M. Glynn, R. H. Britton & B. K. Britton. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Dykstra, D., Boyle, C. F., et Monarch, I. A. (1992). Studying conceptual change in learning physics. *Science Education*, 76, 615-52.
- Hake R. R. (1992). Socratic pedagogy in the introductory physics lab. *Physics Teacher*, 30, 546-50.
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-students survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66, 64-74.
- Hale, P. (2000). Kinematics and graphs: students' difficulties and CBLs. *The Mathematics Teacher*, 93(5), 414-417.
- Halloun, I. A. et Hestenes, D. (1985). The initial state of college physics students. *American Journal of Physics*, 53, 1043-1056.

- Hassard, J. (1992). *Minds on science, middle and secondary school methods*. New York, NY: HarperCollins Publishers Inc.
- Hestenes, D., Wells M. et Swackhammer, G. (1992). Force Concept Inventory. *Physics Teacher*, 30, 141-158.
- Hewitt, P. G. (1993). *Conceptual physics, Student's manual* (7e ed.). New York, NY: HarperCollins' College Division.
- Hobson, A. (1995). *Physics: concepts and connections* (3e ed.). Englewood cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Hofstein, A., Navon, O., Kipnis, M. et Mamlok-Naaman, R. (2005). Developing students' ability to ask more and better questions resulting from inquiry-type chemistry laboratories. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(7), 791-806.
- Hofwold, C. A. (1985). Instructional strategies in the science classroom. In *Research with reach: Science Education*, eds. D. Holdzkom & P. B. Lutz. Washington, DC: National Science Teachers Association.
- Jackson, D. F. (1993). Teaching the design and interpretation of graphs through computer-aided graphical data analysis. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(5), 483-501.
- Jacobsen, D., Eggen, P. et Kauchak, D. (1989). *Methods for teaching: a skills approach* (3e ed). Colombus, Ohio: Merrill Publishing Company.
- Johnstone, A.H. et Al-Shuaili, A. "Learning in the laboratory; some thoughts from the literature." *University Chemistry Education*, 2001.
- Knight, R. D. (2004). *Five easy lessons, strategies for successful physics teaching*. San Francisco, CA: Addison Wesley.
- Laws, P. (1991). The role of computers in introductory physics courses. *Computer in Physics*, 5(5), 552.
- Lazarowitz, R., et P. Tamir (1994). Research on using laboratory instruction in science. In *Handbook of research on science teaching and learning*, ed. D. L. Gabel, 94-128. New York: Macmillan Publishing Co.

- Legendre, M.-F. (2002). Le rôle du changement qualitatif dans les processus de changement conceptuel et ses implications pour l'enseignement et la formation des enseignants. In *Changement conceptuel et apprentissage des sciences*, ed. R. M. J. Toussaint. Outremont : Éditions Logiques.
- Legendre, R. (1988). *Dictionnaire actuel de l'éducation*. Montréal, Québec: Larousse.
- Linn, M. C. (1988). Perspectives for research in science teaching: using the computer as laboratory partner. *European Conference for Research on Learning*. U.S. California: ERIC.
- Linn, M. C., Layman, J. W. & Nachmias, R. (1987). Cognitive consequences of microcomputer-based laboratories: Graphing skills development. *Contemporary Educational Psychology*, 12(3), 244-53.
- Linn, M. C. et Songer, N. B. (1991). Cognitive and Conceptual Change in Adolescence. *American Journal of Education*, 99 (4), 379-417.
- McCloskey, M., Caramazza, A. et Green, B. (1980). Curvilinear motion in the absence of external forces. *Science*, 210, 1139.
- McDermott, Lillian C. et the Physics Education Group at the University of Washington (1996). *Physics by Inquiry Vols. 1 and II*. New York, NY: John Wiley & Sons, Inc.
- McKenzie, D. et Padilla, M. (1986). The construction and the validation of the testing and graphing in science (TOGS). *Journal of Research in Science Teaching*, 23, 571-579.
- Millar, R., Tiberghien, A. et Le Maréchal, J.-F. (2002). Varieties of Labwork: A Way of Profiling Labwork. In *Teaching and learning in the science laboratory*, eds. D. Psillos & H. Niedderer, 9-20. Pays-Bas: Kluwer academic publishers.
- Nonnon, P. (1986). *Laboratoire d'initiation aux sciences assisté par ordinateur*. (Report No. 023). Université de Montréal : Publication de la Faculté des sciences de l'éducation.
- Ostlund, K. L. (1992). *Science process skills*. Parsippany, NJ: Dale Seymour Publications.



- Padilla, M. J. (1990). *The science process skills*. Athens: University of Georgia. (NARST No. 9004).
- Ministère de l'Éducation, des Loisirs et du Sport (2005). *Programme de formation de l'école québécoise, Sciences et technologie, 2e cycle du secondaire*. Québec: Gouvernement du Québec.
- Mokros, J. R. & Tinker, R. F. (1987). The impact of microcomputer-based labs on children's ability to interpret graphs. *Journal of Research in Science Teaching*, 24(4), 369-83.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. et Gertzog, W. A. (1982). Accomodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66 (2), 211-227.
- Psillos, D. et Niedderer, H. (2002). *Teaching and learning in the science laboratory*. Pays-Bas: Kluwer academic publishers.
- Redish, E. F. (2003). *Teaching physics with the physics suite*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Rezba, R. J., Sprague et C. Fiel, R. L. (2003). *Learning and assessing science process skills* (4e ed.). Dubuque, Iowa: Kendall/Hunt Publishing company.
- Rosenquist, M. L. & McDermott, L. C. (1987). A conceptual approach to teaching mechanics. *American Journal of Physics*, 55, 407-415.
- Shaffer, P.S., et McDermott, L.C. (1992). Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. *American Journal of Physics*, 60, 1003-1013.
- Strike, K. A., et Posner, G. J. (1982). Conceptual change and science teaching. *European Journal of Science Education*, 4(3), 231-240.
- Strike, K. A., et Posner, G. J. (1985). A conceptual change view of learning and understanding. In *Cognitive structures and conceptual change*, eds. L. H. T. West & A. L. Pines, 211-231. Orlando, Fl: Academic Press.
- Thouin, M. (2004). *Enseigner les sciences et la technologie au préscolaire et au primaire*. Sainte-Foy, Québec : Éditions MultiMondes.
- Thouin, M. (2007). Enseigner les sciences et les techniques selon une perspective historique. In *Regards multiples sur l'enseignement des sciences*, eds. P.

- Povin, M Riopel & S. Masson, 443-458. Québec, Qc: Éditions MultiMondes.
- Tiberghien, A., Jossem, E. L. et Barojas, J. (Gen. dir.). (1997). *Connecting Research in Physics Education with Teacher Education*. The International Commission on Physics Education.
- Tinker, R. F. & Papert, S. (1989). Tools for Science Education. In *Information Technology & Science Education*, ed. J. Ellis. Columbus, OH, AETS.
- Tinker, R. F. (Ed.) 1996. *Microcomputer-based labs: educational research and standards*. Berlin: Springer-Verlag.
- Tobin, K. et Espinet, M. (1989). Impediments to change: Application of peer coaching in high school science. *Journal of Research in Science Teaching*, 26, 105-120.
- Tobin, K., Tippins, D. J. et Gallard, A. J. (1994). Research on instructional strategies for teaching science. In *Handbook of research on science teaching and learning*, ed. D. L. Gabel, 45-93. New York: Macmillan Publishing Co.
- Tobin, K., Espinet, M., Byrd, S.E. et Adam, D. (1988). Alternative perspectives of effective science teaching. *Science Education*, 72, 433-451.
- Tobin, K, et Gallagher, J. (1987). What happens in high school science classrooms? *Journal of Curriculum Studies*, 19, 549-560.

## **8. Annexes**

## Annexe 1-A : Cahier d'activité pour le laboratoire traditionnel – 1<sup>re</sup> partie

### Position, vitesse et accélération

Laboratoire sur la cinématique présenté en deux étapes:

- 1- Mobile propulsé par un ventilateur
- 2- Plan incliné



Mobile propulsé par un ventilateur

### Buts

- Approfondir l'étude de la relation qui existe entre la position, la vitesse et l'accélération d'un corps (*mobile propulsé par un ventilateur*) qui est en **mouvement rectiligne uniformément accéléré**.
- Établir les liens entre le graphique de la **position en fonction du temps** et celui de la **vitesse en fonction du temps**.
- Établir les liens entre le graphique de la **vitesse en fonction du temps** et celui de l'**accélération en fonction du temps**.

### Théorie

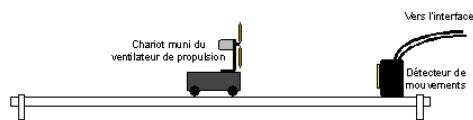
- La position d'un corps en fonction du temps peut être représentée par une courbe sur un graphique. Des courbes de vitesse et d'accélération en fonction du temps peuvent aussi être tracées. Puisqu'un graphique est la représentation mathématique du mouvement d'un corps, il est important de bien comprendre comment interpréter une courbe de *position*, de *vitesse* ou d'*accélération* en fonction du temps.
- Tout comme dans le premier laboratoire, vous pourrez observer un corps se déplacer grâce à **un graphique de la position en fonction du temps**. Vous analyserez aussi les graphiques de la vitesse et de l'accélération en fonction du temps correspondant au même mouvement.

## Protocole

- Dans cette expérience, le détecteur de mouvement sera utilisé pour déterminer la position du chariot qui s'éloignera du capteur grâce au ventilateur.
- Le logiciel **Data Studio** traduira son mouvement en un graphique de position en fonction du temps.
- **Assurez-vous d'avoir enregistré cette expérience sur votre compte d'élève !!!**

## Interface et détecteur de mouvements

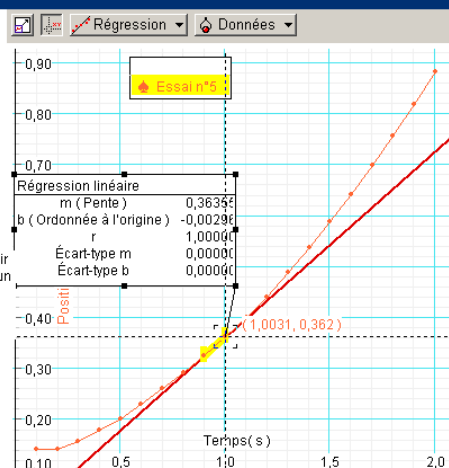
- Brancher les prises digitales du détecteur de mouvement dans les entrées correspondantes de l'interface : celle identifiée par une **bande jaune** dans l'entrée #1 et la seconde dans l'entrée #2.
- Installer le détecteur de mouvement à l'extrémité du rail et le pointer dans la direction du chariot. **S'assurer qu'il n'y ait aucun fil qui obstrue le passage du chariot.** Le rail devrait être plat (**aucune pente significative**) afin que le chariot reste immobile lorsqu'il est sur le rail.
- Poser le chariot à **environ 10 cm** du détecteur de mouvements. Tenir la ficelle et mettre le ventilateur en marche à la **vitesse basse**.
- **Attention : le chariot doit être orienté afin qu'il s'éloigne du capteur !!**



## Observations

- Lorsque vous êtes prêt(e), cliquez sur le bouton **Démarrer** et au même instant relâchez la ficelle : **l'enregistrement débutera immédiatement.** L'enregistrement des données cessera automatiquement **2 secondes après le début de la prise de données.**
- Assurez-vous que la courbe est uniforme, et si vous détectez des anomalies au centre de la courbe, faites une nouvelle mesure. Lorsque votre essai est "satisfaisant", allez dans **Données** et **désactivez les autres essais.**
- Cliquer sur le bouton **Régression** du graphique et choisir **"régression linéaire"**. Toujours sur le graphique, ouvrir un rectangle en cliquant et en glissant le curseur afin de n'encadrer que **deux points** : celui à  **$t = 1s$**  (environ) et **celui le précédant** (zone devient jaune).
- Cliquer sur l'icône **Outil d'analyse** (bouton sur la barre grise du graphique avec un sigle XY) et positionner le curseur sur la courbe à  **$t = 1s$ .**

**N.B. Assurez-vous que le curseur de positionnement est à la bonne place et que la régression linéaire correspond toujours aux deux points sélectionnés antérieurement. Ces deux points sont censés être colorés en jaune.**  
Placez la fenêtre de régression afin qu'elle n'obstrue pas la courbe de votre graphique.

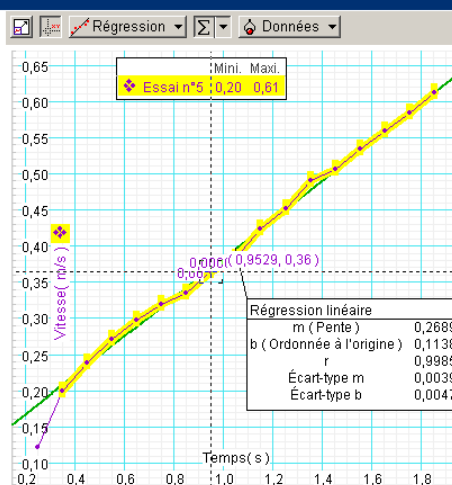


## Analyse

- Cliquer sur l'onglet **Données** sur le cadre du graphique et cliquer **sur l'essai choisi à la page précédente**.
- Cliquer sur l'onglet **Régression** du graphique et choisir **"régression linéaire"**. Toujours sur le graphique, ouvrir un rectangle en cliquant et en glissant le curseur afin d'encadrer tous les points, ou jusqu'à ce que le chariot frappe le "mur" (si vous le détectez sur le graphique).
- Cliquer sur l'icône de **Outil d'analyse** et positionner le curseur sur la courbe à environ  **$t = 1s$** .

N.B.

1. Remarquez qu'on indique la valeur minimum (**Mini.**) et la valeur maximum (**Maxi.**) des ordonnées pour la zone colorée en jaune.
2. Placez la fenêtre de régression afin qu'elle n'obstrue pas la courbe de votre graphique.



PASCO  
scientific

## Analyse (suite)

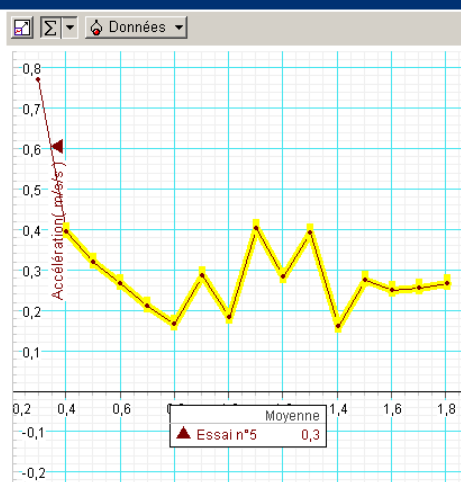
- Cliquer sur l'onglet **Données** sur le cadre du graphique et cliquer toujours **sur l'essai choisi antérieurement**.

Sur le graphique, ouvrir un rectangle en cliquant et en glissant le curseur afin d'encadrer tous les points valides, ou jusqu'à ce que le chariot frappe le "mur".

N.B. Cette fois, on indique la **Moyenne** de toutes les valeurs sélectionnées en ordonnée.

Imprimez les pages 7 à 9 du laboratoire (1 seule copie).

Maintenant que l'expérimentation est terminée, profitez-en pour **Enregistrer** !



PASCO  
scientific

## Annexe 1-B : Cahier d'activité pour le laboratoire traditionnel – 2<sup>e</sup> partie

### Plan incliné

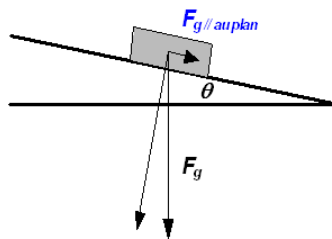


### But

- Déterminer l'effet de l'inclinaison du plan sur le mouvement du mobile.
- Déterminer l'accélération d'un mobile qui monte et redescend le long d'un plan incliné.

### Théorie

- Pour un chariot se déplaçant, sans frottement, le long d'un plan incliné d'un angle  $\theta$ , la force procurant l'accélération est une composante de la force gravitationnelle. Parallèle au plan incliné, cette composante est fonction de la force gravitationnelle et de l'angle d'inclinaison du plan.

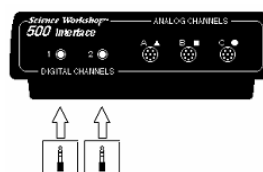


### Protocole

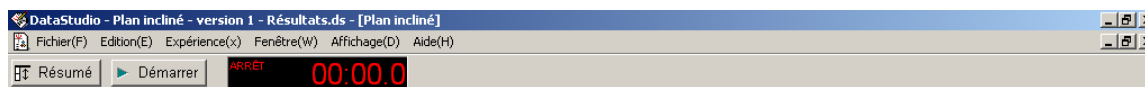
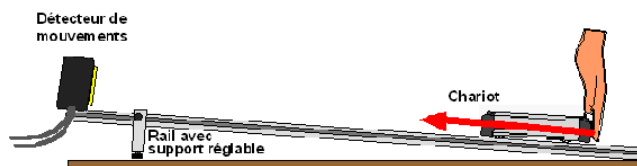
- Dans cette expérience, le détecteur de mouvements déterminera la position d'un chariot qui sera poussé, vers le haut, le long d'un plan incliné.
- Le logiciel *DataStudio* déterminera la position du chariot tout au long du trajet de montée et de descente. Il calculera aussi la vitesse et l'accélération du chariot pour la montée et la descente du plan incliné.
- Assurez-vous d'avoir enregistré cette expérience sur votre compte d'élève !!!

## Interface et détecteur de mouvements

- Brancher les prises digitales du détecteur de mouvement dans les entrées correspondantes de l'interface : celle identifiée par une **bande jaune** dans l'entrée \*1 et la seconde dans l'entrée \*2.
- Placer le rail sur le bureau et installer le détecteur de mouvements à l'extrémité (*mettre l'interrupteur du détecteur à **onde étroite***). Élever une extrémité (*celle avec le détecteur de mouvements*) grâce au support réglable. En mesurant avec le rapporteur d'angles, s'assurer que l'angle d'inclinaison soit de **maximum 10°**. *Vérifier qu'il n'y ait aucun fil qui obstrue le passage du chariot.*
- Le chariot débutera son mouvement à l'extrémité basse et sera poussé vers le haut en direction du capteur.

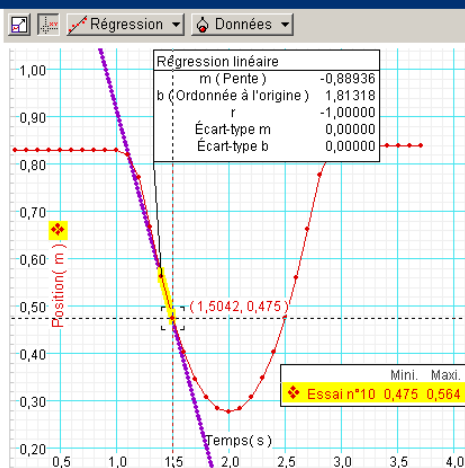


**N.B. Ne pas pousser le chariot trop fort: il ne doit pas toucher le détecteur de mouvement !**



## Observations

- Lorsque vous êtes prêt(e), cliquez sur le bouton **Démarrer** et 1 seconde après, poussez le chariot vers le haut du plan incliné (**ne pas toucher le détecteur**). Vous devrez arrêter l'enregistrement des données en cliquant sur le bouton **Arrêter** au moment où le chariot sera revenu au bas du rail.
- Assurez-vous que la courbe est uniforme, et si vous détectez des anomalies, faites une nouvelle mesure. Lorsque votre essai est "satisfaisant", allez dans **Données** et **désactivez les autres essais**.
- En utilisant les boutons **Régression** et **Outil d'analyse** du graphique, trouvez la valeur de la **vitesse** et de la **position** à  $t = 1,5$  s (**le chariot doit être en mouvement**). N'oubliez pas que pour le bouton **Régression** vous devez ouvrir un rectangle en cliquant et en glissant le curseur afin de n'encadrer que les points du graphique qui vous intéressent.

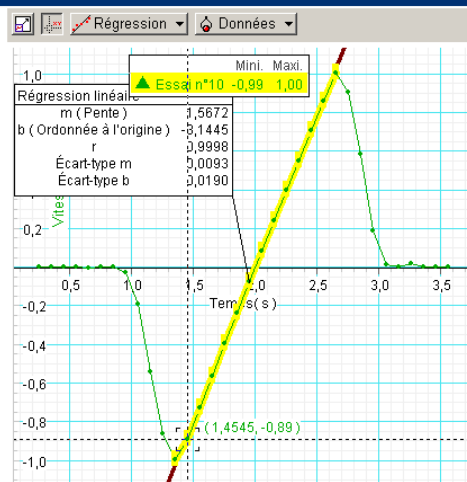




## Observations

- Cliquez sur l'onglet **Données** sur le cadre du graphique et cliquez **sur l'essai choisi à la page précédente**.
- Toujours avec l'onglet **Régression**, encadrez les points où l'**accélération est positive**.
- Avec l'icône **Outil d'analyse**, trouvez la vitesse du bolide à  $t = 1,5$  s.

**N.B.**  
Placez la fenêtre de régression afin qu'elle n'obstrue pas la courbe de votre graphique.



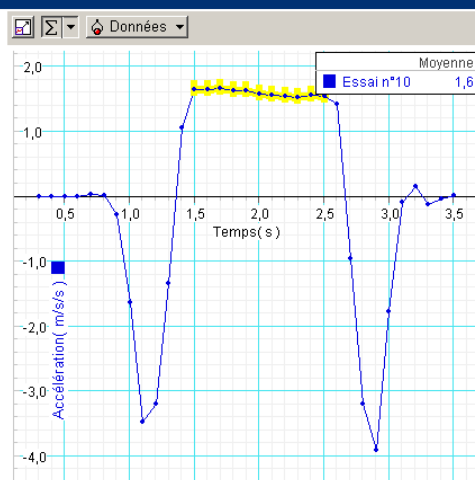
## Observations

- Cliquez sur l'onglet **Données** sur le cadre du graphique et cliquez toujours **sur l'essai choisi antérieurement**.
- Sur le graphique, ouvrez un rectangle en cliquant et en glissant le curseur afin d'encadrer les points où le chariot a une **accélération constante positive**.

**N.B.** Cette fois, on indique la **Moyenne** de toutes les valeurs d'**ordonnées sélectionnées**.

Imprimez les pages 6 à 8 du laboratoire (1 seule copie).

Maintenant que l'expérimentation est terminée, profitez-en pour **Enregistrer** !



## Annexe 2-A : Cahier d'activité pour le laboratoire enquête – 1<sup>re</sup> partie

### Position, vitesse et accélération

Laboratoire sur la cinématique présenté en deux étapes:

- 1- Mobile propulsé par un ventilateur
- 2- Mouvement modifié du mobile



Mobile propulsé par un ventilateur

### Buts

- Approfondir l'étude de la relation qui existe entre la position, la vitesse et l'accélération d'un corps (*mobile propulsé par un ventilateur*) qui est en **mouvement rectiligne uniformément accéléré**.
- Établir les liens entre le graphique de la **position en fonction du temps** et celui de la **vitesse en fonction du temps**.
- Établir les liens entre le graphique de la **vitesse en fonction du temps** et celui de l'**accélération en fonction du temps**.

### Théorie

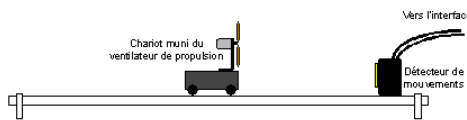
- La position d'un corps en fonction du temps peut être représentée par une courbe sur un graphique. Des courbes de vitesse et d'accélération en fonction du temps peuvent aussi être tracées. Puisqu'un graphique est la représentation mathématique du mouvement d'un corps, il est important de bien comprendre comment interpréter une courbe de *position*, de *vitesse* ou d'*accélération* en fonction du temps.
- Tout comme dans le premier laboratoire, vous pourrez observer un corps se déplacer grâce à **un graphique de la position en fonction du temps**. Vous analyserez aussi les graphiques de la vitesse et de l'accélération en fonction du temps correspondant au même mouvement.

## Protocole

- Dans cette expérience, le détecteur de mouvement sera utilisé pour déterminer la position du chariot qui s'éloignera du capteur grâce au ventilateur.
- Le logiciel **Data Studio** traduira son mouvement en un graphique de position en fonction du temps.
- **Assurez-vous d'avoir enregistré cette expérience sur votre compte d'élève !!!**

## Interface et détecteur de mouvements

- Brancher les prises digitales du détecteur de mouvement dans les entrées correspondantes de l'interface : celle identifiée par une **bande jaune** dans l'entrée #1 et la seconde dans l'entrée #2.
- Installer le détecteur de mouvement à l'extrémité du rail et le pointer dans la direction du chariot. **S'assurer qu'il n'y ait aucun fil qui obstrue le passage du chariot.** Le rail devrait être plat (**aucune pente significative**) afin que le chariot reste immobile lorsqu'il est sur le rail.
- Poser le chariot à **environ 10 cm** du détecteur de mouvements. Tenir la ficelle et mettre le ventilateur en marche à la **vitesse basse**.

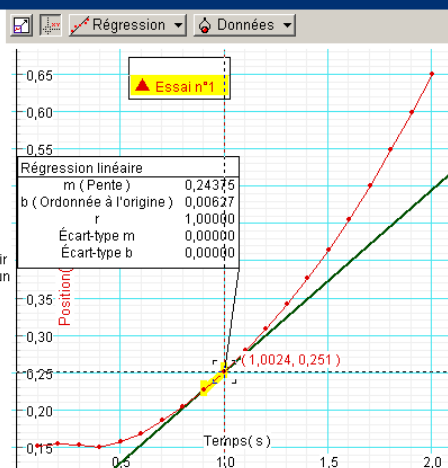


- **Attention : le chariot doit être orienté afin qu'il s'éloigne du capteur !!**

## Observations

- Lorsque vous êtes prêt(e), cliquez sur le bouton **Démarrer** et au même instant relâcher la ficelle : **l'enregistrement débutera immédiatement.** L'enregistrement des données cessera automatiquement **2 secondes après le début de la prise de données.**
- Assurez-vous que la courbe est uniforme, et si vous détectez des anomalies au centre de la courbe, faites une nouvelle mesure. Lorsque votre essai est "satisfaisant", allez dans **Données** et **désactivez les autres essais.**
- Cliquez sur le bouton **Régression** du graphique et choisir **"régression linéaire"**. Toujours sur le graphique, ouvrir un rectangle en cliquant et en glissant le curseur afin de n'encadrer que **deux points** : celui à  **$t = 1s$**  (environ) et **celui le précédant** (zone devient jaune).
- Cliquez sur l'icône **Outil d'analyse** (bouton sur la barre grise du graphique avec un sigle XY) et positionner le curseur sur la courbe à  **$t = 1s$ .**

**N.B.** Assurez-vous que le curseur de positionnement est à la bonne place et que la régression linéaire correspond toujours aux deux points sélectionnés antérieurement. **Ces deux points sont censés être colorés en jaune.** Placez la fenêtre de régression afin qu'elle n'obstrue pas la courbe de votre graphique.



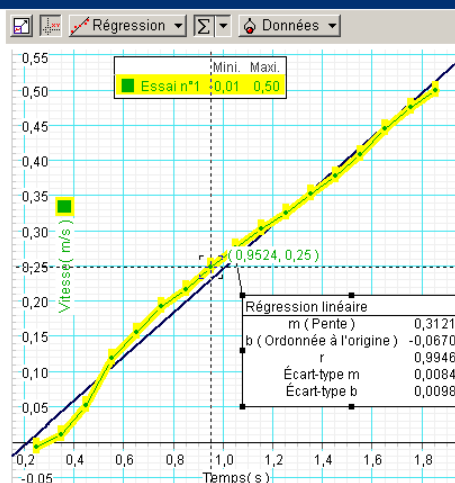
## Analyse

- Cliquer sur l'onglet **Données** sur le cadre du graphique et cliquer **sur l'essai choisi à la page précédente**.
- Cliquer sur l'onglet **Régression** du graphique et choisir **"régression linéaire"**. Toujours sur le graphique, ouvrir un rectangle en cliquant et en glissant le curseur afin d'encadrer tous les points, ou jusqu'à ce que le chariot frappe le "mur" (si vous le détectez sur le graphique).
- Cliquer sur l'icône de **Outil d'analyse** et positionner le curseur sur la courbe à environ  **$t = 1s$** .

N.B.

1- Remarquez qu'on indique la valeur minimum (**Mini.**) et la valeur maximum (**Maxi.**) des ordonnées pour la zone colorée en jaune.

2- Placez la fenêtre de régression afin qu'elle n'obstrue pas la courbe de votre graphique.



PASCO  
scientific

## Analyse (suite)

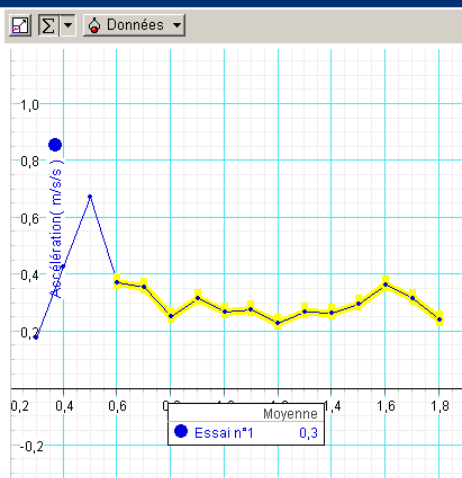
- Cliquer sur l'onglet **Données** sur le cadre du graphique et cliquer toujours **sur l'essai choisi antérieurement**.

Sur le graphique, ouvrir un rectangle en cliquant et en glissant le curseur afin d'encadrer tous les points valides, ou jusqu'à ce que le chariot frappe le "mur".

N.B. Cette fois, on indique la **Moyenne** de toutes les valeurs sélectionnées en ordonnée.

Imprimez les pages 7 à 9 du laboratoire (1 seule copie).

Maintenant que l'expérimentation est terminée, profitez-en pour **Enregistrer** !



PASCO  
scientific

## Annexe 2-B : Cahier d'activité pour le laboratoire enquête – 2<sup>e</sup> partie



### Mouvement modifié du mobile

## Buts

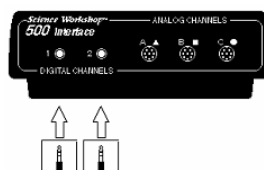
- Déterminer l'impact de la modification du ou des paramètres du laboratoire sur le mouvement d'un mobile.
- Déterminer l'accélération du mobile selon les nouveaux paramètres.

## Protocole

- Dans cette expérience, le détecteur de mouvements déterminera la position de votre chariot, selon le protocole que vous avez prédéterminé.
- Le logiciel *DataStudio* mesurera la position du chariot tout au long du trajet et tracera la courbe du graphique de la position en fonction du temps. Il permettra aussi de tracer les graphiques de la vitesse et de l'accélération du chariot en fonction du temps.
- **Assurez-vous d'avoir enregistré cette expérience sur votre compte d'élève !!!**

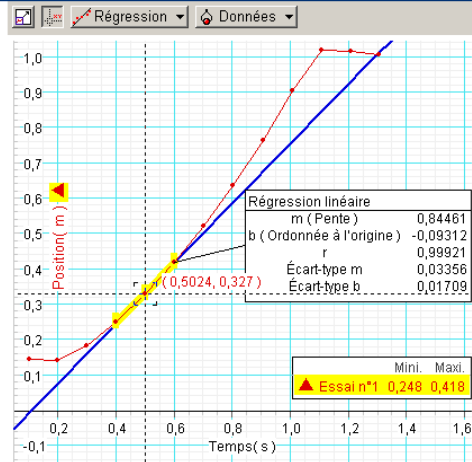
## Interface et détecteur de mouvements

- Brancher les prises digitales du détecteur de mouvement dans les entrées correspondantes de l'interface : celle identifiée par une **bande jaune** dans l'entrée #1 et la seconde dans l'entrée #2.
- Placer le détecteur de mouvements à l'extrémité du rail, ou selon votre protocole (*mettre l'interrupteur du détecteur à onde étroite pour plus de précision*). **Vérifier qu'il n'y ait aucun fil qui obstrue le passage du chariot sur le rail.**
- Il faut faire attention pour que **le chariot ne rentre pas en contact avec le détecteur de mouvement.**



## Observations

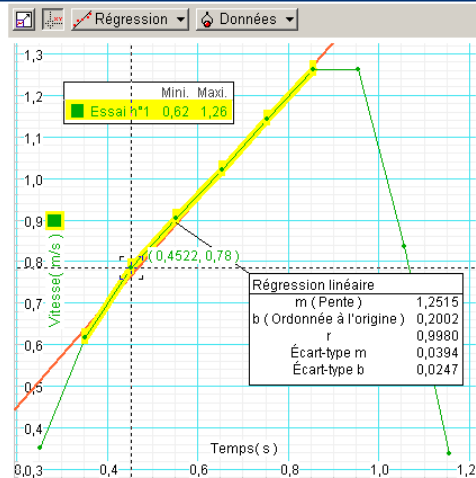
- Le bouton **Démarrer** permet de faire d'activer le détecteur de mouvement, et ce, jusqu'à ce que vous appuyez sur **Arrêter**.
- Assurez-vous que la courbe du mouvement du mobile soit uniforme, et si vous détectez des anomalies, faites une nouvelle mesure. Lorsque votre essai est "satisfaisant", allez dans **Données** et désactivez les autres essais.
- N'hésitez pas à retourner voir la première partie du laboratoire afin d'utiliser les boutons qui sont situés au haut du graphique, et qui pourront vous aider à collecter des données pour les résultats et l'analyse.



## Observations

- Pour avoir accès aux données de chaque essai, il faut cliquer sur l'onglet **Données** sur le cadre du graphique.

N.B.  
Placez les fenêtres afin qu'elles n'obstruent pas la courbe de votre graphique.

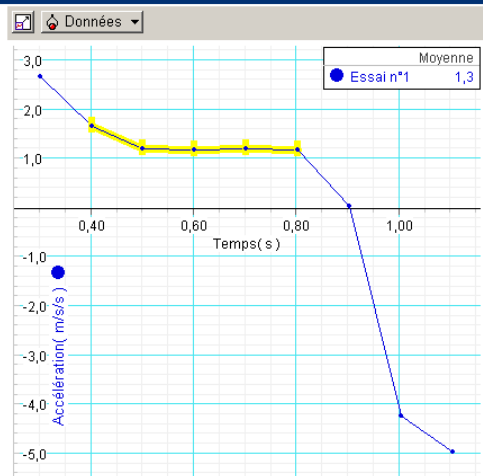


## Observations

- Pour avoir accès aux données de chaque essai, il faut cliquer sur l'onglet **Données** sur le cadre du graphique.

Imprimez les pages 5 à 7 du laboratoire (1 seule copie).

Maintenant que l'expérimentation est terminée, profitez-en pour **Enregistrer** !



**Annexe 3 : Feuille d'analyse pour la première partie du laboratoire traditionnel et du laboratoire enquête**

***Mobile propulsé par un ventilateur***

***Rappel des buts :***

- Approfondir l'étude de la relation quantitative qui existe entre la position, la vitesse et l'accélération d'un corps (*mobile propulsé par un ventilateur*) qui est en ***mouvement rectiligne uniformément accéléré***.
- Établir les relations entre le graphique de la ***position en fonction du temps*** et celui de la ***vitesse en fonction du temps***.
- Établir les relations entre le graphique de la ***vitesse en fonction du temps*** et celui de l'***accélération en fonction du temps***.

***Tableau 1 - Données obtenues dans le graphique de la position en fonction du temps***

Valeur de la pente de la tangente à $t = 1\text{s}$ ( <i>environ</i> )	
Valeur de la position à $t = 1\text{s}$	
Position initiale du chariot	
Position finale du chariot	
Déplacement total du chariot (jusqu'au choc, ou pour votre graphique complet)	

À quoi correspond la valeur de la pente d'une tangente dans ce type de graphique ?

---

**Tableau 2** - Données obtenues dans le graphique de la vitesse en fonction du temps

Valeur de la pente pour les données sélectionnées	
Valeur de la vitesse à $t = 1\text{s}$	
Vitesse initiale du chariot	
Vitesse finale du chariot	

À quoi correspond la valeur de la pente dans ce type de graphique ?

---

**Tableau 3** - Données obtenues dans le graphique de l'accélération en fonction du temps

Valeur de la moyenne de l'accélération	
--	--

**N.B. N'oubliez pas les unités dans chacun des tableaux !**

### Analyse

1. Calculer l'aire sous la courbe du graphique de la vitesse en fonction du temps entre 0,5 et 1,0 s. **Montrez vos calculs.**
2. Comparer le résultat de la question précédente avec la valeur de la variation de position entre 0,5 s et 1,0 s sur le graphique de la position en fonction du temps. **Inscrire les deux valeurs.**



3. Calculer l'accélération grâce à la valeur de la vitesse correspondant au temps  $t = 1\text{s}$  ainsi qu'avec la valeur maximum **ou** la valeur minimum sur le graphique de la vitesse en fonction du temps. La résolution se fera avec l'une des équations du MRUA. **Montrez vos calculs.**
4. Comparer le résultat de la question précédente avec la valeur de la moyenne de l'accélération du graphique de l'accélération en fonction du temps. **Inscrire les deux valeurs.**
5. Comparer la pente du graphique de la vitesse en fonction du temps avec la valeur de la moyenne de l'accélération du graphique de l'accélération en fonction du temps. **Inscrire les deux valeurs.**
6. Calculer l'aire sous la courbe du graphique de l'accélération en fonction du temps, entre 0,6 et 1,0 s. **Montrez vos calculs.**
7. Comparer le résultat de la question précédente avec la valeur de la variation de la vitesse sur le graphique de la vitesse en fonction du temps, entre 0,6 et 1,0 s. **Inscrire les deux valeurs.**

Indiquer les 4 relations mathématiques établies entre les graphiques (2 position-vitesse et 2 vitesse-accélération) :

---

---

---

---

**Annexe 4 : Feuille d'analyse pour le laboratoire traditionnel – 2<sup>e</sup> partie**

***Plan incliné***

***Rappel des buts*** (toujours en lien avec ceux de la première partie):

- Déterminer l'effet de l'inclinaison d'un plan sur le ***mouvement*** d'un mobile.
- Déterminer l'***accélération*** d'un mobile qui monte et redescend le long d'un plan incliné.

**Résultats**

Décrire le mouvement du mobile lors de la montée et de la descente :

---



---



---

***Tableau 1 - Données obtenues dans le graphique de la position en fonction du temps***

Valeur de la position à $t = 1,5$ s	
Valeur de la vitesse à $t = 1,5$ s	
Position initiale du chariot	
Position du chariot la plus éloignée du détecteur	
Déplacement total du chariot	

**Tableau 2** - Données obtenues dans le graphique de la vitesse en fonction du temps

Valeur de la vitesse à $t = 1,5$ s	
Vitesse maximale atteinte lors de la montée	
Vitesse maximale atteinte lors de la descente	
Instant où le chariot s'arrête	
Accélération pendant la montée	
Accélération pendant la descente	

**Tableau 3** - Données obtenues dans le graphique de l'accélération en fonction du temps

Valeur de la moyenne de l'accélération	
Variation de vitesse lorsque l'accélération est constante	

**N.B. N'oubliez pas les unités dans chacun des tableaux !**

### Analyse

1. Calculer l'accélération grâce à la valeur de la vitesse correspondant au temps  $t = 1,5$  s ainsi qu'avec la valeur maximum **ou** la valeur minimum sur le graphique de la vitesse en fonction du temps. La résolution se fera avec l'une des équations du MRUA. **Montrez vos calculs.**
2. Comparer le résultat de la question précédente avec la valeur de la moyenne de l'accélération du graphique de l'accélération en fonction du temps, et avec la pente des données sélectionnées du graphique de la vitesse en fonction du temps. **Inscrire les trois valeurs.**

3. Quels facteurs influencent la précision des résultats obtenus dans ce laboratoire (donner au moins 4 facteurs) ?

---

---

4. Quelle distance le mobile a-t-il parcouru **pendant la première moitié de la montée** ? Quelle distance a-t-il parcouru pendant la **deuxième moitié de la montée** ?

## Conclusion

Qu'arrive-t-il à la variable accélération lorsqu'un mobile roule sur un plan incliné (que ce soit en montant ou en descendant ce plan) ?

---

---

Autres découvertes :

---

---

**Annexe 5 : Feuille de préparation pour le laboratoire enquête – 2<sup>e</sup> partie**

<b><i>Mouvement modifié</i></b>
---------------------------------

**Buts** (toujours en lien avec ceux de la première partie):

- Déterminer l'impact de la modification d'un ou de plusieurs paramètre(s), de l'expérience précédente, sur le ***mouvement (MRUA)*** d'un mobile.
- Déterminer l'***accélération*** du mobile selon le ou les nouveau(x) paramètre(s).

**Questions préalables**

4. Quels étaient les paramètres, dans la première partie du laboratoire, qui influençaient le mouvement du mobile ? ***Fournir 3 paramètres différents.***

---



---

5. Connaissant le matériel à votre disposition pour faire un laboratoire assisté par ordinateur (*voir feuille du tiroir*), comment pourriez-vous changer le montage pour que le mouvement du chariot propulsé par un ventilateur (*ou le chariot de votre tiroir*) soit différent ? ***Fournir au moins 3 façons différentes.***

---



---

6. Dans la 2<sup>e</sup> partie du laboratoire, vous devrez faire un nouveau montage et en analyser le mouvement du mobile (*MRUA*), grâce au détecteur de mouvements.
- Faites une description du montage que vous voulez faire.
  - Faites un schéma de la situation, avec un court protocole indiquant les principales étapes de réalisation du laboratoire.

---

---

---

---

---

7. Sachant que vous aurez accès aux graphiques suivants lors de la prise de vos données (les *mêmes* que ceux de la première partie de laboratoire) :
- Position en fonction du temps
  - Vitesse en fonction du temps
  - Accélération en fonction du temps

Comment pourrez-vous déterminer (*méthode et outils*) :

La position du mobile par rapport au détecteur de mouvements ?

---

Le déplacement pour un laps de temps (2 *moyens*) ?

---

---

La vitesse à certains moments du mouvement (2 *moyens*) ?

---



---

L'accélération pendant un laps de temps (2 *moyens*) ?

---



---

La variation de vitesse pendant le mouvement ?

---

Décrivez, en vos mots, le mouvement que vous pensez que votre mobile fera lors du laboratoire. Spécifiez quelles variables ( $S$ ,  $\Delta S$ ,  $v$ ,  $\Delta v$ ,  $a$ ) seront différentes (*et comment elles diffèrent*) par rapport à la première partie. **Esquissez le graphique de la position en fonction du temps** de cette nouvelle situation.

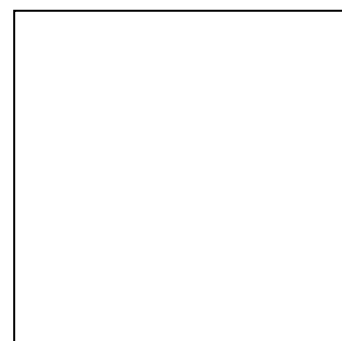
---



---



---




---



---

**Annexe 6 : Feuille d'analyse pour le laboratoire enquête – 2<sup>e</sup> partie**

***Mouvement modifié***

**Résultats**

Décrire le mouvement réel du mobile (*lors de l'expérimentation*) :

---



---



---

***Tableau 1 - Données obtenues dans le graphique de la position en fonction du temps***

Valeur de la position à $t = \underline{\hspace{2cm}}$	
Valeur de la vitesse à $t = \underline{\hspace{2cm}}$	
Position initiale du chariot	
Position du chariot la plus éloignée du détecteur	
Déplacement total du chariot	

***Tableau 2 - Données obtenues dans le graphique de la vitesse en fonction du temps***

Valeur de la vitesse à $t = \underline{\hspace{2cm}}$	
Vitesse maximale atteinte	
Instant où le chariot s'arrête	
Accélération lorsqu'elle est constante	



**Tableau 3** - Données obtenues dans le graphique de l'accélération en fonction du temps

Valeur de la moyenne de l'accélération	
Variation de vitesse lorsque l'accélération est constante	

**N.B. N'oubliez pas les unités dans chacun des tableaux !**

### Analyse

8. Calculer l'accélération grâce à la valeur de la vitesse correspondant au temps  $t = \underline{\hspace{2cm}}$ , pour la portion de laboratoire où l'accélération est constante, sur le graphique de la vitesse en fonction du temps. La résolution se fera avec l'une des équations du MRUA. **Montrez vos calculs.**
  
9. Comparer le résultat de la question précédente avec la valeur de la moyenne de l'accélération, pour la portion où elle est constante, du graphique de l'accélération en fonction du temps. **Inscrire les deux valeurs.**
  
10. Quels facteurs influencent la précision des résultats obtenus dans ce laboratoire (donner au moins 4 facteurs) ?

---



---

11. Quelle distance le mobile a-t-il parcourue **pendant la première partie** du trajet? Quelle distance a-t-il parcourue pendant la **dernière partie** du trajet?

### Conclusion

Qu'arrive-t-il à la variable accélération lorsqu'un mobile est soumis à vos conditions de laboratoire ?

---

---

Autres découvertes :

---

---

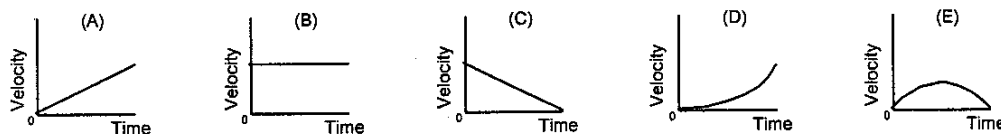
---

---

## Annexe 7 : Questionnaire du test TUG-K

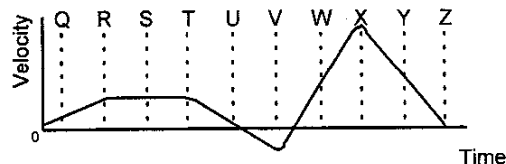
Traduction : Velocity => Vitesse, Time => Temps, Acceleration => Accélération

1. Des graphiques de la vitesse en fonction du temps pour cinq objets sont présentés ci-dessous. Tous les axes ont les mêmes graduations. Quel objet a eu la plus grande variation de position durant l'intervalle de temps ?



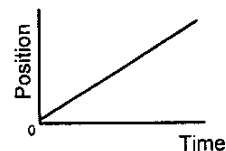
2. Quand l'accélération est-elle la plus négative ?

- (A) R à T
- (B) T à V
- (C) V
- (D) X
- (E) X à Z



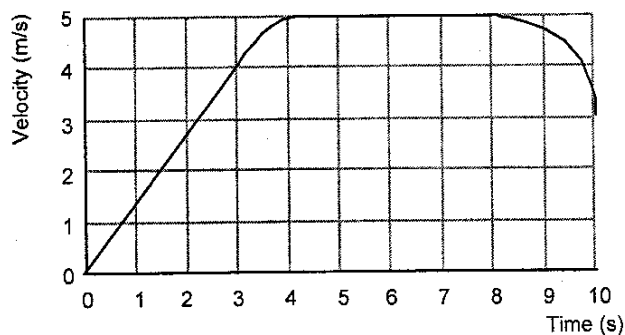
3. À droite, il y a un graphique du mouvement d'un objet. Quelle phrase est la meilleure interprétation ?

- (A) L'objet se déplace avec une accélération constante, non-nulle, .
- (B) L'objet ne bouge pas.
- (C) L'objet se déplace avec une vitesse qui augmente uniformément.
- (D) L'objet se déplace avec une vitesse constante.
- (E) L'objet se déplace avec une accélération qui augmente uniformément.



4. Un ascenseur part du sous-sol et se rend au 10<sup>e</sup> étage d'un édifice. La masse de l'ascenseur est 1000 kg et il se déplace tel qu'il est représenté dans le graphique de la vitesse en fonction du temps ci-dessous. Jusqu'où se rend-il durant les 3 premières secondes du mouvement ?

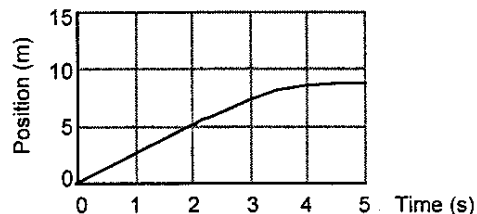
- (A) 0,75 m
- (B) 1,33 m
- (C) 4,0 m
- (D) 6,0 m
- (E) 12,0 m



Traduction : Velocity => Vitesse, Time => Temps, Acceleration => Accélération

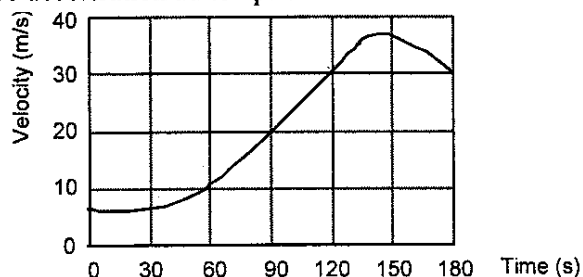
5. La vitesse à  $t = 2$  s est :

- (A) 0,4 m/s
- (B) 2,0 m/s
- (C) 2,5 m/s
- (D) 5,0 m/s
- (E) 10,0 m/s



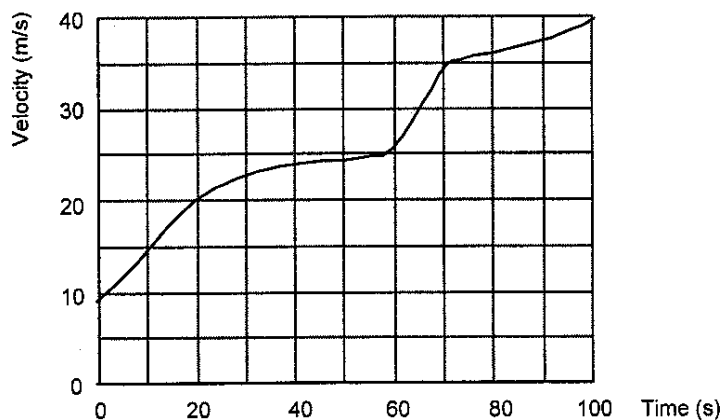
6. Ce graphique est celui de la vitesse en fonction du temps pour une automobile ayant une masse de  $1,5 \times 10^3$  kg. Quelle était l'accélération au temps  $t = 90$  s ?

- (A)  $0,22 \text{ m/s}^2$
- (B)  $0,33 \text{ m/s}^2$
- (C)  $1,0 \text{ m/s}^2$
- (D)  $9,8 \text{ m/s}^2$
- (E)  $20 \text{ m/s}^2$



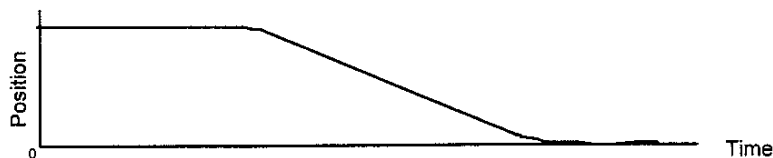
7. Le mouvement d'un objet se déplaçant en ligne droite est représenté par le graphique suivant. Au temps  $t = 65$  s, la grandeur de l'accélération instantanée de l'objet était approximativement :

- (A)  $1 \text{ m/s}^2$
- (B)  $2 \text{ m/s}^2$
- (C)  $9,8 \text{ m/s}^2$
- (D)  $30 \text{ m/s}^2$
- (E)  $34 \text{ m/s}^2$



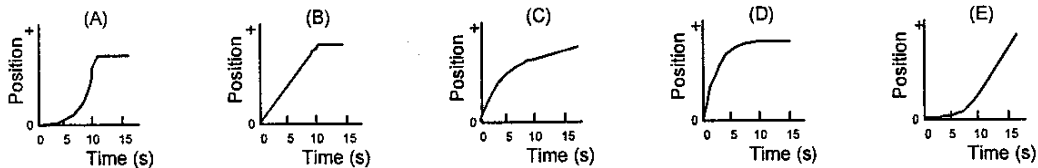
Traduction : Velocity => Vitesse, Time => Temps, Acceleration => Accélération

8. Voici un graphique du mouvement d'un objet. Quelle phrase est la bonne interprétation?

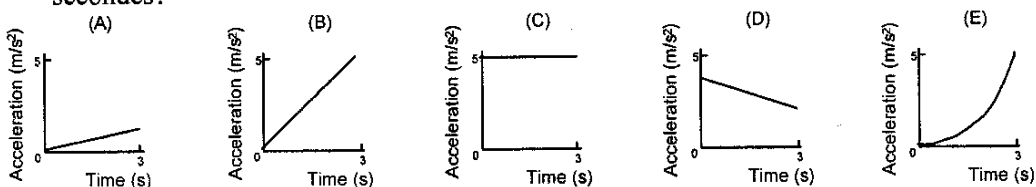


- (A) L'objet roule sur une surface plane. Ensuite, il descend une pente et finalement s'arrête.
- (B) Initialement, l'objet ne bouge pas. Par la suite, il roule vers le bas d'une pente et s'arrête.
- (C) L'objet se déplace avec une vitesse constante. Il ralentit et finalement s'arrête.
- (D) Au début, l'objet ne bouge pas. Par la suite, il recule et il s'arrête.
- (E) L'objet se déplace sur une surface plane, il recule en descendant une côte et par la suite, il continue de se déplacer

9. Un objet part du repos et est soumis à une accélération constante et positive pendant 10 secondes. Par la suite, il continue avec une vitesse constante. Quel graphique parmi les suivants représente cette situation ?

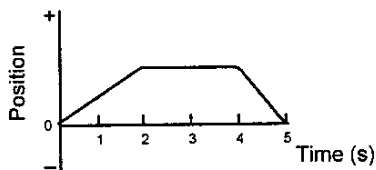


10. 5 objets se déplacent selon les graphiques suivants de l'accélération en fonction du temps. Lequel subit la plus petite variation de vitesse durant l'intervalle de 3 secondes?

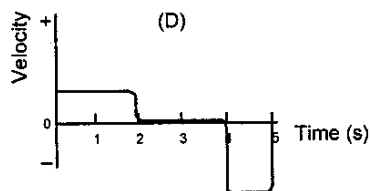
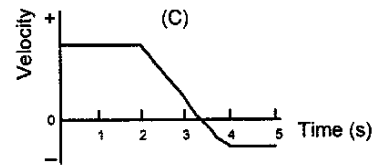
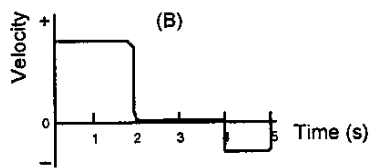
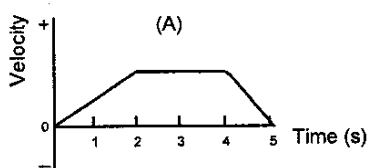


Traduction : Velocity => Vitesse, Time => Temps, Acceleration => Accélération

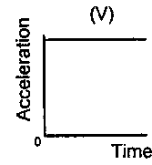
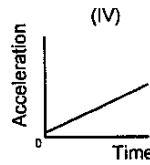
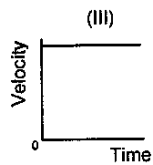
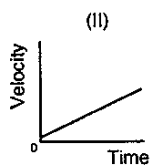
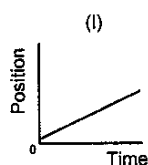
11. Le graphique de la position en fonction temps suivant est celui pour un objet durant un intervalle de 5 secondes.



Lequel de ces graphiques de la vitesse en fonction du temps représenterait le mieux le mouvement de l'objet durant le même intervalle ?



12. Observez les graphiques suivants et remarquez les différents axes.

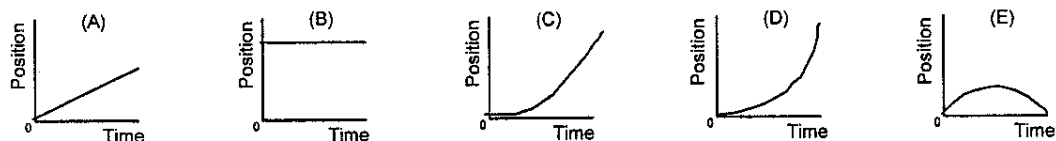


Lequel ou lesquels représente(ent) un mouvement à vitesse constante ?

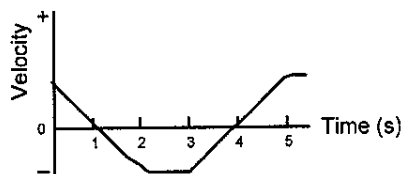
- (A) I, II et IV
- (B) I et III
- (C) II et V
- (D) IV seulement
- (E) V seulement

Traduction : Velocity = > Vitesse, Time = > Temps, Acceleration => Accélération

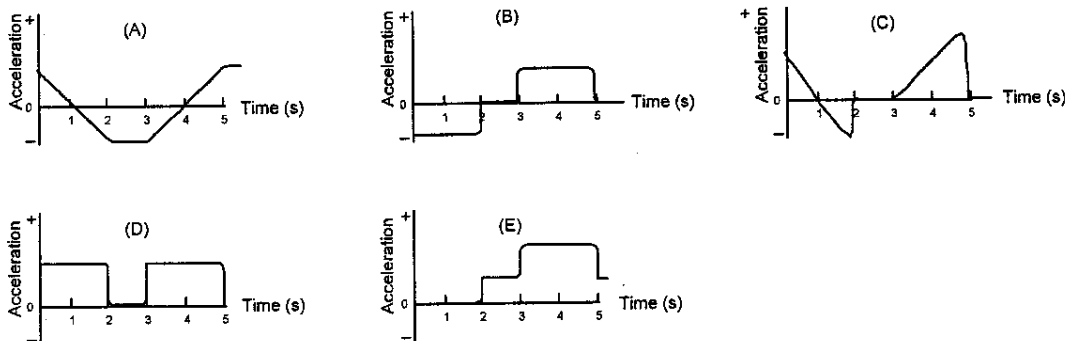
13. Les graphiques de la position en fonction du temps pour cinq objets sont présentés ci-dessous. Tous les axes sont gradués de la même façon. Quel objet avait la plus grande vitesse instantanée durant cet intervalle de temps ?



14. Le graphique vitesse-temps suivant est celui d'un objet pour un intervalle de 5 secondes.

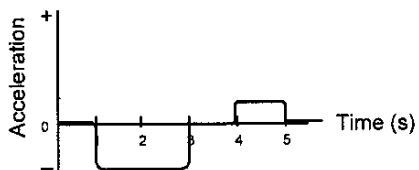


Lequel de ces graphiques de l'accélération en fonction du temps représenterait le mieux le mouvement de l'objet durant le même intervalle de temps ?

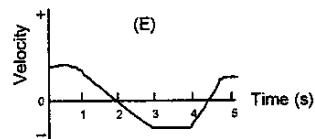
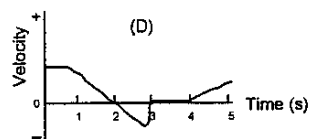
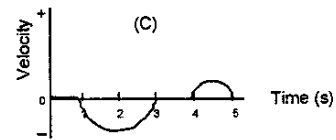
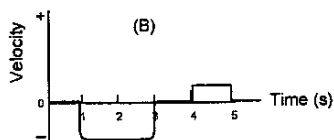
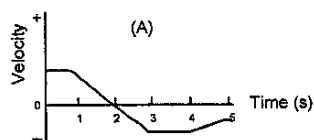


Traduction : Velocity => Vitesse, Time => Temps, Acceleration => Accélération

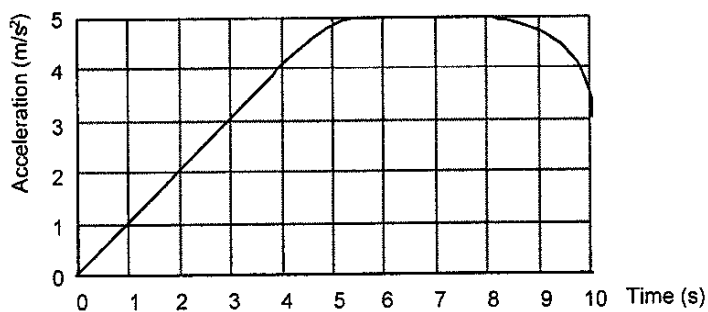
15. Le graphique suivant est un graphique de l'accélération d'un objet pour un intervalle de 5 secondes.



Lequel de ces graphiques de la vitesse en fonction du temps représenterait le mieux le mouvement d'un objet durant le même intervalle de temps ?



16. Un objet se déplace selon le graphique suivant :



La variation de vitesse de l'objet durant les 3 premières secondes était :

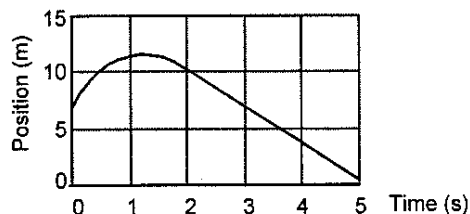
- (A) 0,66 m/s
- (B) 1,0 m/s
- (C) 3,0 m/s
- (D) 4,5 m/s
- (E) 9,8 m/s



Traduction : Velocity => Vitesse, Time => Temps, Acceleration => Accélération

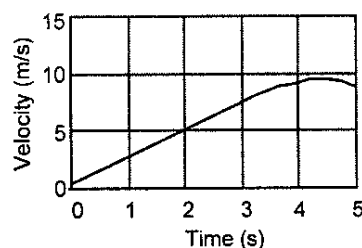
17. La vitesse au temps  $t = 3$  s est environ :

- (A) -3,3 m/s
- (B) -2,0 m/s
- (C) -0,67 m/s
- (D) 5,0 m/s
- (E) 7,0 m/s

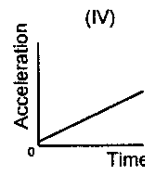
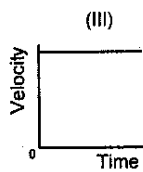
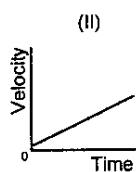
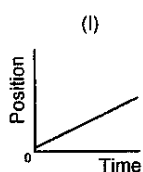


18. Si tu voulais savoir la distance parcourue durant l'intervalle de  $t = 0$  s à  $t = 2$  s à partir du graphique ci-dessous, tu

- (A) lirais 5 directement sur l'axe vertical.
- (B) trouverais l'aire entre le segment de droite et l'axe du temps en calculant  $(5 \times 2)/2$ .
- (C) trouverais la pente de ce segment de droite en divisant 5 par 2.
- (D) trouverais la pente de ce segment de droite en divisant 15 par 5.
- (E) Il n'y a pas assez d'informations pour répondre.



19. Observez les graphiques suivants et remarquez les différents axes.

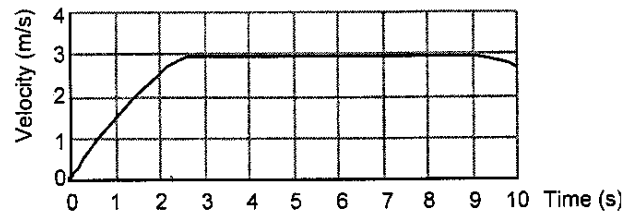


Quel(s) représente(nt) un mouvement à une accélération constante, non-nulle ?

- (A) I, II et IV
- (B) I et III
- (C) II et V
- (D) IV seulement
- (E) V seulement

Traduction : Velocity => Vitesse, Time => Temps, Acceleration => Accélération

20. Un objet se déplace selon le graphique suivant :

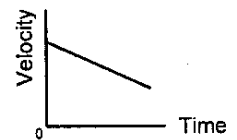


Combien de mètres parcourt-il durant l'intervalle de  $t = 4 \text{ s}$  à  $t = 8 \text{ s}$  ?

- (A) 0,75 m
- (B) 3,0 m
- (C) 4,0 m
- (D) 8,0 m
- (E) 12,0 m

21. Voici un graphique du mouvement d'un objet. Quelle phrase est la meilleure interprétation ?

- (A) L'objet se déplace avec une accélération constante.
- (B) L'objet se déplace avec une accélération qui diminue uniformément.
- (C) L'objet se déplace avec une vitesse qui augmente uniformément.
- (D) L'objet se déplace à vitesse constante.
- (E) L'objet ne bouge pas.

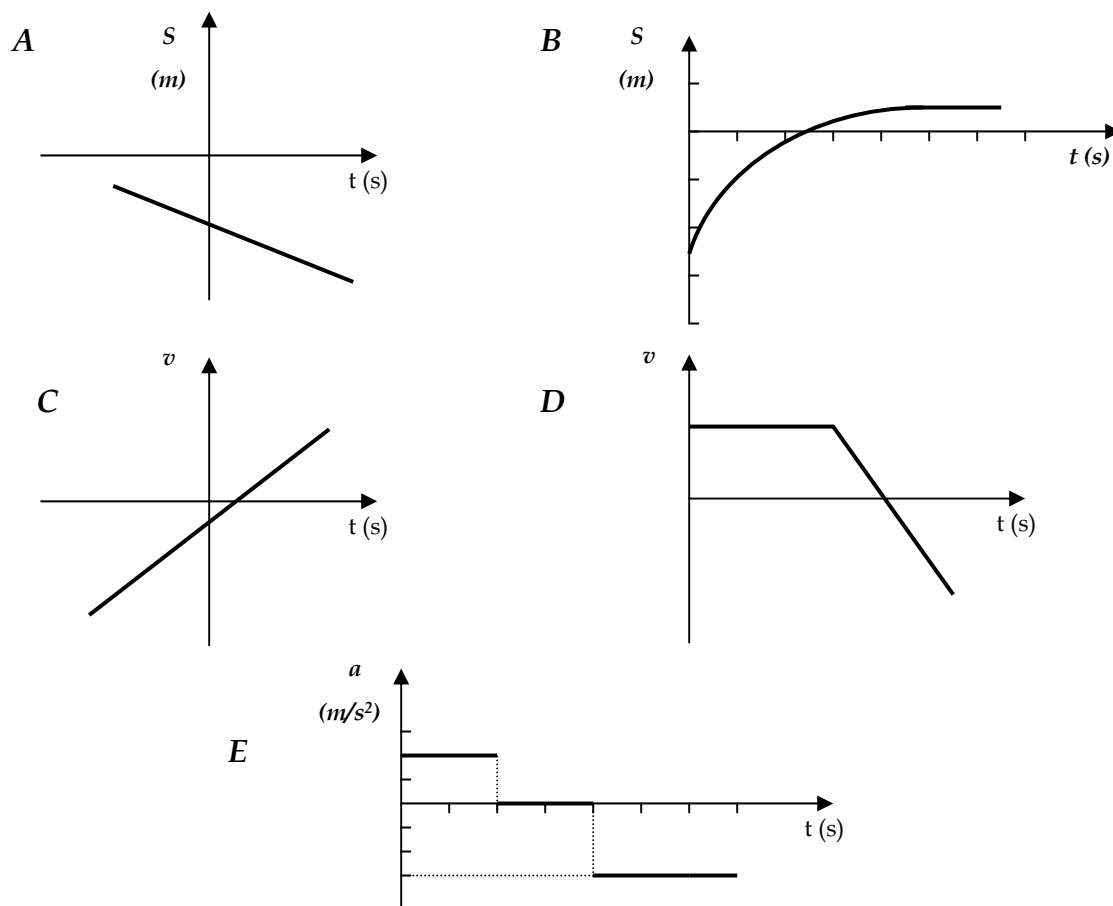


### Annexe 8 : Questionnaire d'entrevue individuelle

1. Définir les termes suivants :

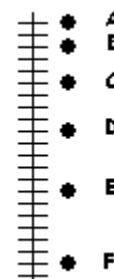
- a) Déplacement
- b) Vitesse
- c) Accélération

2. D'après les graphiques suivants :

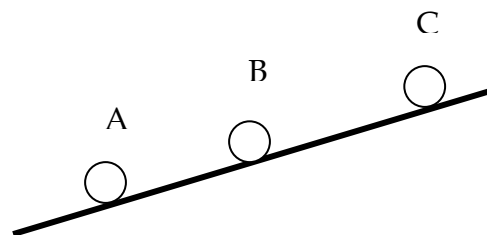


- a) Faire une description du mouvement de l'objet pour chaque graphique.
- b) Comment peut-on déterminer le déplacement pour chaque type de graphique ?
- c) Comment peut-on déterminer la vitesse pour chaque type de graphique ?
- d) Comment peut-on déterminer la variation de vitesse pour chaque type de graphique ?
- e) Comment peut-on déterminer l'accélération pour chaque type de graphique ?

3. La figure ci-jointe représente une photo multiple d'une balle en chute libre, prise à l'aide d'une lampe stroboscopique (capable d'allumer rapidement à des intervalles fixes). L'air applique une force de résistance négligeable.



- À quel point, C ou F, l'accélération de la balle est plus grande?
  - À quel point, C ou F, la vitesse de la balle est plus grande?
  - À quel point, C ou F, la force sur la balle est plus grande?
  - La balle prend moins de temps pour parcourir la distance : entre A et B ou entre D et E?
4. En donnant un bref coup à une balle qui se trouve à la base d'un plan incliné, on la fait remonter la rampe. On considère que la friction de la rampe et la force de résistance de l'air sont négligeables. Considérez trois points : A, juste après que la balle commence la remontée; B, à mi-chemin sur le plan; et C, au sommet de la remontée.



- À quel point, A, B ou C, l'accélération de la balle est plus grande?
  - À quel point, A, B ou C, la vitesse de la balle est plus grande?
  - À quel point, A, B ou C, la force sur la balle est plus grande?
  - La balle prend moins de temps pour parcourir la distance : entre A et B ou entre B et C?
5. Pour décrire le mouvement de la balle de la question précédente (pour la montée seulement), faites des graphiques :
- de la position contre le temps
  - de la vitesse contre le temps
  - de l'accélération contre le temps
- N.B. Le sens positif est vers le haut du plan*

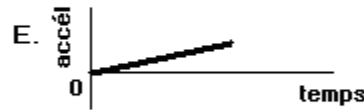
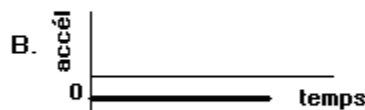
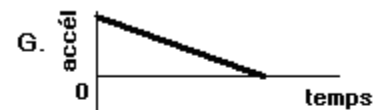
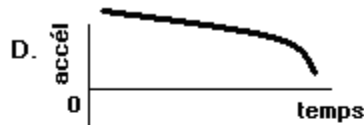
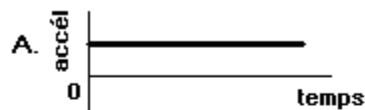


6. Les trois sous-questions suivantes concernent une balle lancée verticalement vers le haut. Après atteindre un sommet, la balle tombe aussi verticalement. Utilisez un des énoncés suivants, **A** à **H**, pour décrire l'accélération de la balle durant l'étape concernée par chaque énoncé. Prenez vers le **haut** comme étant la direction positive. Ignorez les effets de la résistance de l'air.

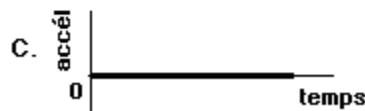
- A. L'accélération est négative et constante.
- B. L'accélération est négative et elle augmente.
- C. L'accélération est négative et elle diminue.
- D. L'accélération est nulle.
- E. L'accélération est positive et constante.
- F. L'accélération est positive et elle augmente.
- G. L'accélération est positive et elle diminue.
- H. Aucun de ces énoncés ne décrit l'accélération dans l'étape.

- a) Lorsque la balle monte : \_\_\_\_\_
- b) Lorsque la balle est au sommet : \_\_\_\_\_
- c) Lorsque la balle redescend : \_\_\_\_\_

7. Les cinq sous-questions suivantes concernent une auto qui se déplace vers la droite ou la gauche sur une surface horizontale en ligne droite. La direction positive est vers la **droite**. Les questions décrivent différents mouvements de l'auto. Choisissez la lettre, **A** à **H**, du graphique d'accélération contre temps, correspondant le mieux au mouvement décrit.

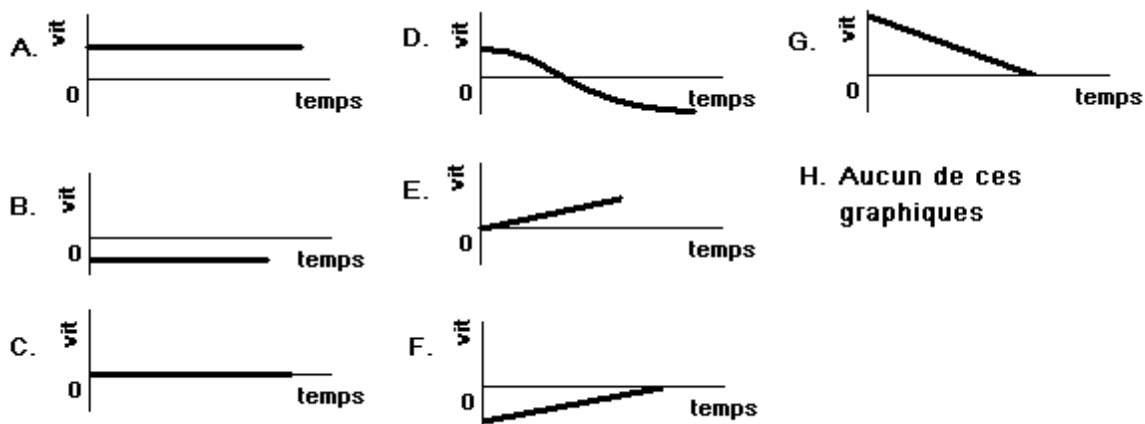


H. Aucun de ces graphiques



- a) L'auto se déplace vers la droite en accélérant à un taux constant :
- b) L'auto se déplace vers la droite en ralentissant à un taux constant :
- c) L'auto se déplace vers la gauche à vitesse constante :
- d) L'auto se déplace vers la gauche en accélérant à un taux constant :
- e) L'auto se déplace vers la droite à vitesse constante :

8. Les quatre sous-questions suivantes concernent une auto qui se déplace vers la droite ou la gauche sur une surface horizontale en ligne droite. La direction positive est vers la **droite**. Les questions décrivent différents mouvements de l'auto. Choisissez la lettre, **A** à **H**, du graphique de vitesse contre temps, correspondant le mieux au mouvement décrit.



- a) L'auto se déplace vers la droite en accélérant à un taux constant : \_\_\_\_\_
- b) L'auto change de direction : \_\_\_\_\_
- c) L'auto se déplace vers la gauche à vitesse constante : \_\_\_\_\_
- d) L'auto se déplace vers la droite en accélérant à un taux constant : \_\_\_\_\_